

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-022813

(43)Date of publication of application : 26.01.2001

(51)Int.Cl. G06F 17/50  
G01R 29/08  
G06F 17/14

(21)Application number : 11-196190

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 09.07.1999

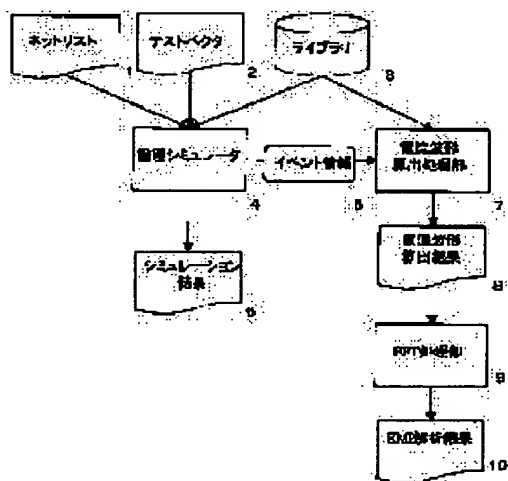
(72)Inventor : NARAHARA HIDETOSHI  
KOJIMA SEIJIRO  
TSUJIKAWA HIROYUKI  
SHIMAZAKI KENJI  
HAMAGUCHI KAZUMI

## (54) ANALYSIS METHOD FOR UNNECESSARY RADIATION

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To evaluate the unnecessary radiation of an LSI in a realistic time and in a simulation mode by calculating the instantaneous current capacity from each event information, modeling the current capacity according to a prescribed rule and performing the FFT(fast Fourier transform) processing of the current change information that is calculated via the said modeling.

**SOLUTION:** A logical simulator 4 performs a simulation according to the information given from a net list 1 showing the data on a circuit that is to undergo an EMI analysis, a test vector 2 which actuates the list 1 and a library 3 which describes the information on each of cells forming the list 1. A current waveform calculation processing part 7 calculates a current waveform from the event information 5 on every cell which is calculated by the simulator 4. On the basis of the calculation result 8 of the part 7, an FFT processing part 9 executes the FFT processing to calculate an EMI component and obtains an EMI analysis result 10 of the EMI analysis object circuit.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-22813

(P2001-22813A)

(43) 公開日 平成13年1月26日 (2001.1.26)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

G 0 6 F 17/50

G 0 6 F 15/60

6 6 6 V 5 B 0 4 6

G 0 1 R 29/08

G 0 1 R 29/08

Z 5 B 0 5 6

G 0 6 F 17/14

G 0 6 F 15/332

A 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 65 頁)

(21) 出願番号

特願平11-196190

(22) 出願日

平成11年7月9日 (1999.7.9)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 榎原 英俊

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(72) 発明者 小島 清次郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74) 代理人 100073874

弁理士 萩野 平 (外4名)

最終頁に続く

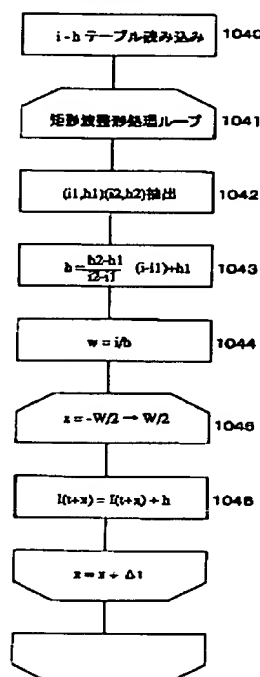
(54) 【発明の名称】 不要輻射解析方法

(57) 【要約】

【課題】 トランジスタレベルのシミュレーションにおける EMI 解析では処理時間が遅いため、LSI 全体を解析することは非現実的であった。また、ゲートレベルの論理シミュレーションでは正確に電流変化を再現することができないため、EMI 解析には用いることができなかった。

【解決手段】 ゲートレベルの論理シミュレーションにおいて、論理シミュレータ4からのイベント情報5から電流波形算出処理部7を用いて電流の変化を算出し、その電流変化をFFT処理部9を用いてFFTすることにより、EMI の周波数特性を算出し、EMI 解析を行う。

図18 第3の矩形波変形処理フロー図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】論理シミュレーションの実行によって L S I の不要輻射量を解析する方法であって、信号変化の発生時に生成され、発生対象である各セルのインスタンス名、その信号名、発生時刻、遷移情報を含む各イベント情報から瞬間的な電流量を算出する工程と、前記瞬間的な電流量をあらかじめ決定された規則に従ってモデル化する工程と、前記モデル化する工程によって算出された電流変化情報を高速フーリエ変換（以下、FFT とする）処理する工程とを有する不要輻射解析方法。

【請求項 2】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を一定離散幅にて平均化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記一定離散幅にて平均化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 3】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を矩形波の面積が各イベントの電流量になるように各イベント情報毎に矩形波の高さを算出した一定幅の矩形波状にモデル化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 4】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を矩形波の面積が各イベントの電流量になるように矩形波の幅と高さを算出した相似型の矩形波状にモデル化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 5】前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記電流量と矩形波の幅と高さを示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 6】前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記入力波形鈍りと矩形波の幅と高さを示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 7】前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記出力負荷容量と矩形波の幅と高さを示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程を有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記

載の不要輻射解析方法。

【請求項 8】請求項 1 乃至 7 のいずれかにおいて、前記モデル化する工程がさらに各セルの電流量と電源抵抗成分から電圧降下成分を算出し、電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする不要輻射解析方法。

【請求項 9】請求項 1 乃至 7 のいずれかにおいて、前記モデル化する工程は、さらに各セルの電流量と電源抵抗成分とオンチップバイパスコンデンサ成分から電圧降下成分を算出し、電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする不要輻射解析方法。

【請求項 10】請求項 1 乃至 7 のいずれかにおいて、前記モデル化する工程は、さらに各セルの電源 RC とセル電流源を過渡解析し、正確に電圧降下成分を算出し、電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする不要輻射解析方法。

【請求項 11】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を三角波の面積が各イベントの電流量になるように各イベント情報毎に高さを算出した一定幅の三角波状にモデル化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 12】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を複数次の関数状にモデル化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記複数次の関数状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 13】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を指数関数状にモデル化する工程を有し、前記 FFT 処理する工程は、前記指数関数状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理する工程であることを特徴とする請求項 1 に記載の不要輻射解析方法。

【請求項 14】前記モデル化する工程はさらに、瞬間的な電流量を貫通電流成分とチャージ電流成分に分けて別々にモデリングする工程を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項 15】前記モデル化する工程は、各セルの種類ごとにそのセルのピーク電流値をキャラクタライズしたライブラリを用いて矩形波の高さを算出する工程と、前記瞬間的な電流量を前記矩形波の高さを算出する工程から算出したピーク電流値とし、面積が各イベントの電流量になるように矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記 FFT 処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報を FFT 処理す

る工程であることを特徴とする請求項1に記載の不要輻射解析方法。

【請求項16】前記矩形波の高さを算出する工程は、入力波形鈍りとピーク電流の関係を各セルの種類ごとにテーブル化しキャラクタライズしたライブラリを用いて各セルごとにそのセルの波形鈍り情報からピーク電流値を算出する工程を含むことを特徴とする請求項15記載の不要輻射解析方法。

【請求項17】前記矩形波の高さを算出する工程は、負荷容量とピーク電流の関係を各セルの種類ごとにテーブル化しキャラクタライズしたライブラリを用いて各セルごとにそのセルの負荷容量情報からピーク電流値を算出する工程を含むことを特徴とする請求項15に記載の不要輻射解析方法。

【請求項18】前記矩形波の高さを算出する工程は、複合セルについてはピーク電流値を複数もたせ、キャラクタライズしたライブラリを用いて複数の矩形波の高さを算出する工程を含み、矩形波状にモデル化する工程は複数の矩形波にモデル化する工程であることを特徴とする請求項15乃至17のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項19】前記矩形波の高さを算出する工程は、フリップフロップ（FF）セルのライズ／フォールそれぞれにピーク電流値をもたせ、キャラクタライズしたライブラリを用いて複数の矩形波の高さを算出する工程を含み、矩形波状にモデル化する工程は複数の矩形波にモデル化する工程であることを特徴とする請求項15乃至17のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項20】前記矩形波の高さを算出する工程が、各セルの状態毎に入力信号状態を考慮し、ピーク電流値をキャラクタライズしたライブラリを用いて矩形波の高さを算出する工程を含むことを特徴とする請求項15乃至19のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項21】前記モデル化する工程はさらに、各セルの種類ごとの電流量と電源抵抗成分から電圧降下成分を算出し、各セル毎に電圧降下成分と瞬間電流量の関係をテーブル化し、キャラクタライズすることにより、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする請求項15乃至20のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項22】前記モデル化する工程は、各セルの種類ごとの電流量と電源抵抗成分とオンチップバイパスコンデンサ成分から電圧降下成分を算出し、各セル毎に電圧降下成分と瞬間電流量の関係をテーブル化し、キャラクタライズすることにより、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする請求項15乃至20のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項23】前記補正する工程は、電圧降下成分の算出及び電流波形の補正処理を複数回繰り返し実施する工程を含むことを特徴とする請求項8乃至10、21、2

2のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項24】前記瞬間的な電流量を算出する工程において、さらに瞬間的な電流量を貫通電流成分とチャージ電流成分に分けて別々にモデリングする工程を含むことを特徴とする請求項15乃至23のいずれかに記載の不要輻射解析方法。

【請求項25】前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を三角波の面積が各イベントの電流量になるように、各イベント情報毎にセルの出力端子におけるスリュー情報（出力スリュー）を考慮して幅を算出するとともに、この幅に基づいて高さを算出した三角波状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする請求項1に記載の不要輻射解析方法。

【請求項26】前記モデル化する工程は、さらに前記瞬間的な電流量を当該セルのイベントが立ち上がりもしくは立ち下り（ライズ／フォール）状態であるかを考慮して、それぞれの状態に応じた係数を乗じて算出し、三角波の面積が各イベントの電流量になるように、前記三角波の高さを算出する工程を含むことを特徴とする請求項25に記載の不要輻射解析方法。

【請求項27】前記モデル化する工程は、複合セルについては各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記出力負荷容量と出力及び入力スリュー情報に基づいて三角波の幅と高さの関係を示すテーブルを用いて、複合セル内部の段数分に等しい複数の三角波状にモデル化する工程を有し、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする請求項1に記載の不要輻射解析方法。

【請求項28】論理シミュレーション装置と、前記論理シミュレーション装置に接続され、信号変化の発生時に生成され、発生対象である各セルのインスタンス名、その信号名、発生時刻、遷移情報を含む各イベント情報から瞬間的な電流量を算出する算出手段と、前記瞬間的な電流量をあらかじめ決定された規則に従ってモデル化するモデル化手段と、前記モデル化する工程によって算出された電流変化情報を高速フーリエ変換処理手段とを有し、前記FFT処理手段の出力に基づいて、LSIの不要輻射量を解析するようにしたことを特徴とする不要輻射解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、不要輻射（EMI：Electromagnetic Interference）解析方法に係り、特に、大規模でかつ高速駆動のLSI（大規模半導体集積回路）に対して高速かつ高精度の論理シミュレーションを行い、電磁輻射を解析する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】LSIは、コンピュータはもちろんのこと、携帯電話等の通信機器、一般家庭製品や玩具、自動車まで利用範囲が拡大している。しかし、その一方で、これらの製品から生じる不要輻射がテレビ・ラジオ等の受信装置の電波障害や他システムの誤動作の原因として問題になっている。これらの問題に対して、フィルタリングやシールドングといった製品全体としての対策も施されているが、部品点数増大・コスト増大・製品上対策の難しさ等の観点より、LSI単体としてのノイズ抑制が強く要請されている。

【0003】このような状況下、各製品においてLSIはキーデバイスとして位置付けられおり、製品の競争力確保のために、LSIの大規模化・高速化が要求されている。製品サイクルが短くなる中で、これらの要求に答えるためにはLSI設計の自動化が必須であり、現状の設計自動化技術導入の条件として同期設計を採用する必要が高まっている。基準クロックに同期して全回路が動作し、大規模かつ高速駆動のLSIの場合には、その瞬時電流は非常に大きくなってしまふことになり、不要輻射の増大を引起すことになる。

【0004】本発明は、LSIの大規模化・高速化を維持しつつも不要輻射を低減するために不可欠であるEMI評価が可能なシミュレーション手法に関するものである。

【0005】LSIが他へ被害を与えるノイズを大別すると、放射ノイズと伝導ノイズがある。LSIからの直接的な放射ノイズとしてLSIの内部配線から放射されるノイズもあるが、内部配線はアンテナとしては大きくない。もちろん、LSIの動作周波数向上に伴い、LSIから直接的に放射されるノイズが将来的に問題となると思われるが、現時点においてはLSI内部の放射ノイズは問題になるレベルではない。

【0006】これに対して、伝導のノイズは、LSI内のワイヤ、リードフレームやプリント基板上配線など直接的な接続を通じてプリント基板上の他のデバイスへ影響を与えるとともに、これらの接続経路を発信源すなわちアンテナとしてノイズを放射する。この接続経路よりなるアンテナはLSI内部の配線と比べると非常に大きく、不要輻射を考える上で支配的な要素である。

【0007】LSIからの伝導ノイズの経路として、電源と信号があるが、近傍の電磁界を考える場合、電源の電流の変化が電源線をアンテナとして放射されるノイズが支配的であると考えられる。また、信号においては信号の変化時に生じるリンギング・オーバーシュートが問題となる場合もあるが、LSI内部電源レベルの変動が信号波形として伝導することが問題となる場合が多い。電源・信号どちらの経路を伝導し放射されるノイズも、電源電流の変化と強く相関があると考えられる。

【0008】簡単なインバータ回路を用いてCMOS回

路の電源電流を説明する。インバータ回路への入力電圧が変化する場合には、CMOS回路の主な電源電流である負荷容量充放電電流が流れる。そして、これに加え貫通電流が加算して流れることになる。このようなCMOS回路を設計するにあたり、自動設計ツールを用いる上での制約により同期化しているが、同期化したことによりLSI全体の回路が同時に動作するため、基準クロックに同期して電源のピーク電流が発生する。しかも、高速化、すなわち周期を短縮するためには、短時間に充放電できるようにトランジスタを大きくするが、その結果としてピーク電流が増大する。当然、LSIが大規模化することによってもLSI全体の電源電流は増大する。このようにして、電源のピーク電流が増大し、電源電流が急峻な変化をするようになってきているが、この急峻な変化が高調波成分を増大させてしまい、不要輻射の増大を招いている。

【0009】不要輻射の主要因とも言える電源電流の変化について高精度のシミュレーションを行うことが、LSIにおける不要輻射の評価として有効であると考えられる。

【0010】ところで従来は、以下に示すようにトランジスタレベルで電流解析を行う電流シミュレーション手法が用いられていた。

【0011】図116は、従来のEMI解析方法の処理フローを示したブロック図である。この方法では、トランジスタレベルの電流解析手法を用いた解析対象となるLSIのレイアウト情報から、レイアウトパラメータ抽出（以下、LPEとする）処理O3を行い、スイッチレベルネットリストについて回路シミュレーションO6、電流源モデリング処理O8、電源配線LPE処理O10、過渡解析シミュレーションO12、FFT処理O14の各ステップを行うように構成されている。

【0012】以下、各ステップについて図116を参照しながら説明する。

【0013】ステップO3ではEMI解析対象となる半導体集積回路のレイアウトデータO1と、トランジスタ素子や各種配線寄生素子（抵抗、容量等）、各素子のパラメータ値、及びそれら抽出結果の出力形式を定義したLPEルールO2が入力され、そのLPEルールO2に基づきレイアウトデータO1における各素子のパラメータを算出し、ネットリストO4が生成される。尚、本ステップでは電源（及びグランド）配線の寄生素子については、抽出対象にしない。

【0014】ステップO6では前記ステップO3より生成されたネットリストO4と解析対象回路において所望の論理的動作を再現させるためのテストパターンO5が入力され、内部回路の動作状態に応じた負荷容量充放電電流や貫通電流等を算出し、各トランジスタ毎の電流波形情報O7が生成される。尚、本ステップの最初の処理では電源（及びグランド）電位を変動の無い理想電位と

仮定して処理を行う。

【0015】ステップ08では前記ステップ06より生成されたトランジスタ毎の電流波形情報07が入力され、それぞれを以降のステップ012で適用できる形式にモデリングし、電流源素子モデル情報09が生成される。尚、以降のステップ012の処理負荷軽減のためにも、複数のトランジスタで構成される機能回路ブロック毎に電流源素子としてモデリングする手法が一般的である。

【0016】ステップ010は前記ステップ03に対して、抽出対象がEMI解析対象となるトランジスタ素子や各種配線寄生素子から、電源及びグランド配線の寄生素子（抵抗、デカップリング容量等）に代わる点が異なるのみであるため説明を省略する。尚、本ステップにより電源（及びグランド）配線ネットリスト011が生成される。

【0017】ステップ012では前記ステップ08より生成された電流源素子モデル情報09と前記ステップ010より生成された電源（及びグランド）配線ネットリスト011とワイヤリードフレームのインピーダンス

（抵抗、容量、インダクタンス）016が入力され、SPICEに代表される過渡解析シミュレータを使用した解析により、解析対象回路の電源電圧変動を算出した電源電圧降下結果016が生成される。

【0018】この後、前記ステップ06の再処理を行う。その際に、前記ステップ06の最初の処理では電源（及びグランド）電位を変動の無い理想電位と仮定したのに対して、ここでは前記ステップ012より生成された電源電圧降下結果016が入力され、電源電圧変動を考慮に入れた各トランジスタ毎の電流波形情報07が再度生成される。同様に前記ステップ08、012の再処理が行われる。

【0019】この前記ステップ06、08、012のループ処理を複数回繰り返すことで、電源電圧変動をより高精度に再現させた電流波形結果013が生成される。

【0020】ステップ014では前記ステップ012より生成された電流波形結果013が入力され、高速フーリエ変換（以下、FFTとする）を施すことにより、周波数スペクトラム解析を行なうことが可能となり、EMI解析結果015を得ることが出来る。

【0021】この従来例では、LPE処理03、電源配線LPE処理010及び電流源モデリング処理08の合わせ込みによって検証精度は大きく左右するものの、一定レベルの解析精度が期待できる。しかし、このようなトランジスタレベルの電流解析にはSPICEに代表される過渡解析シミュレータを使用するため、解析対象回路規模に制限があり処理時間も長大となる。半導体集積回路の大規模化が進んでいる近年、トランジスタレベルよりも抽象度が高く、高速解析が可能なEMI解析方法の確立が望まれている。

【0022】従来、高速化の可能な電流解析方法として、ゲートレベルの電流解析方法が提案されている。このゲートレベルの電流解析方法は、消費電力の解析などに用いられている。

【0023】ゲートレベルの消費電力を見積もるこのゲートレベル消費電力解析方法は、回路素子の出力ポートの論理信号が0から1に変化あるいは1から0に変化する際の1変化当りの総電流量をあらかじめライブラリ化し、一般の論理シミュレーション手段で消費電力推定対象の回路中のインスタンスの出力ポートが0から1に変化、あるいは1から0に変化した際に前述の1変化当り総電流量を前記回路全体の各時刻の総電流量に加算していくことで回路全体の消費電力（総電流量に外部電圧値を掛けた値）を推定する方法を用いている。図109に従来の一般的な従来のゲートレベルの消費電力解析方法を実行するための装置の一例についてその構成を示す。同図に示すゲートレベル消費電力解析装置は、回路接続情報記憶手段1001と、信号変化パターン記憶手段1002と、素子電流量記憶手段1003と、総電流量記憶手段1004と、総電流量算出手段1005とからなる電流量解析装置を用いて実行される。

【0024】次に、これらの図109のゲートレベル電流解析装置を構成する個々の要素について説明するとともに、図110に示すゲートレベルの回路接続情報と、図111に示す各端子における信号変化パターンと、図112に示す素子電流量とを用いて図113に示す電流量を算出する手順を説明する。

【0025】回路接続情報記憶手段1001は、対象となる回路の接続情報である回路接続情報を記憶するものであり、あらかじめ図110に示すような回路接続情報を記憶している。この回路接続情報は一般的にはネットリストと呼ばれるものである。

【0026】この回路接続情報は、外部入力ポートDと、外部クロック入力ポートCLKと、外部出力ポートQと、フリップフロップFF1、FF2と、バッファ素子BUF1と、素子間を接続する配線D1、Q1とから構成されている。フリップフロップFF1、FF2は、データ入力ピンDと、クロック入力ピンCKと、データ出力ピンQとを持ち、クロック入力ピンCLKに入力されるクロック信号変化の立ち上がりエッジでデータ入力ピンDの直前の論理値をデータ出力ピンQに伝播する。

【0027】バッファ素子BUF1は、データ入力ピンAとデータ出力ピンYとを持ち、データ入力ピンAの論理値をデータ出力ピンYに出力する。

【0028】以上の各素子は素子内遅延等の遅延を有し信号伝播を行う際には遅延1nsをもって伝播されるものとする。外部入力ポートDは直接フリップフロップFF1の入力ピンDに接続されている。外部クロック入力ポートCLKは外部からのクロック信号変化を入力する端子であり、直接フリップフロップFF1とFF2の入

カピンCKに接続されている。外部出力ポートQは直接フリップフロップFF2の出力ピンQに接続され、この信号値を出力する。配線D1はバッファBUF1の出力ピンYとフリップフロップFF2の入力ピンDを接続している。配線Q1はフリップフロップFF1の出力ピンQとバッファBUF1の入力ピンAを接続している。

【0029】信号変化パターン記憶手段1002は、対象回路接続情報に印加する信号変化パターンを記憶するものであり、図111に示すように図110の入力ポートCLK、Dに入力される信号変化パターンをあらかじめ記憶している。横軸は信号変化パターンの変化時刻を示し、信号変化パターンは各時刻に論理0と論理1のいずれかに変化する。

【0030】素子電流量記憶手段1003は、各素子の外部端子が1度変化した際に流れる総電流量の情報である素子電流量情報を記憶するものであり、あらかじめ図112に示すような素子電流量情報を記憶している。1301はフリップフロップFFのクロック入力端子CKの信号が変化する時の電流量をあらわしている。1302はフリップフロップFFの出力端子Qの信号が変化する時の電流量をあらわしている。1303はバッファBUFの出力端子Yの信号が変化した時の電流量をあらわしている。

【0031】総電流量算出手段1005は、図114に示すようなフローチャートを有する。

【0032】まず、ステップ1501で回路接続情報記憶手段1001に記憶された図110の回路接続情報を読み込む。そして、ステップ1502で信号変化パターン記憶手段1002に記憶された図111の信号変化パターンを読み込む。ステップ1503で素子電流量記憶手段1003に記憶された図112の素子電流量情報を読み込む。

【0033】次にステップ1504で図111の信号変化パターンを図110の回路接続情報に与え、信号伝播を行うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部端子が信号変化を起こした際に、端子に対応する電流量を各時刻における総電流量情報に加算する。ここで用いる信号伝播方法としては、タイミングシミュレータで用いられる信号伝播方法と同一の手法を用いる。これは与えた信号変化パターンに応じて現実の回路内部で発生する信号変化を与えたパターンが影響する回路部分を追いつながら時系列で計算し求めていく方法である。このタイミングシミュレータによる信号伝播手法は、既に市販ツールの中で多数実現化され一般的であるため、詳細な説明は割愛する。信号変化パターンの各ステップの信号伝播の結果、各ピンの論理値の変化を図112に示す。

【0034】図112では、図111の信号変化パターンの形式と同様の形式で示されている。信号伝播完了後、ステップ1505で、算出された図113に示す各

時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段1004に記憶する。総電流量記憶手段1004は、以上の手順で検出された各時刻における総電流量情報を図113に示す形式で記憶する。

【0035】なお、より詳細に計算する場合には、素子電流量記憶部に出力負荷容量に依存する（チャージ電流に依存する）電流の負荷依存係数と依存しない（貫通電流に依存する）電流の総量を記憶し、別途各配線の容量情報を読み込み、その容量情報と負荷依存係数の積と負荷非依存電流の和を電流総量として扱う方法がある。以上説明したように、図110の従来のゲートレベル消費電力算出方法では、電流量は1回の入力ピンまたは出力ピンの信号変化を単位として扱われ電流は一瞬で流れるものとして扱われていた。すなわち、電流の総量のみを求めるものであった。これは消費電力という観点で見れば十分な精度であるが、EMI解析の観点では時間的な電流の変化の情報が必要となるため不十分であった。

#### 【0036】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、トランジスタレベルの電流解析手法を用いた従来例では、一定レベルの解析精度が期待できるものの、トランジスタレベルの電流解析にはSPICEに代表される過渡解析シミュレータを使用するため、解析対象回路規模に制限があり処理時間も長大となる。半導体集積回路の大規模化が進んでいる近年、トランジスタレベルよりも抽象度が高く、高速解析が可能であるゲートレベルの電流解析手法を利用したEMI解析方法の確立が望まれる。

【0037】一方、ゲートレベルの電流解析手法を用いた従来例では、高速解析は可能であるが、電流の総量のみを求めるものである。従って、消費電力という観点では十分であっても、EMI解析の観点では不十分であるという問題があった。

【0038】本発明は、上記従来の課題を解決するもので、高速解析しつつも、電源電流を高精度に解析することで、シミュレーション上においてLSIの不要輻射を現実的な時間で評価できる方法を提供することを目的とするものである。

#### 【0039】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために、本発明のEMI解析手法は、高速なゲートレベルシミュレーションに対して、電源電流変化の高精度な解析機能を付加したことを特徴とする。

【0040】本発明の第1によれば、論理シミュレーションの実行によってLSIの不要輻射量を解析する方法において、信号変化の発生時に生成され、発生対象である各セルのインスタンス名、その信号名、発生時刻、遷移情報を含む各イベント情報から瞬間的な電流量を算出する工程と、前記瞬間的な電流量をあらかじめ決定された規則に従ってモデル化する工程と、前記モデル化する工程によって算出された電流変化情報を高速フーリエ変

10

20

30

40

50



換（以下、FFTとする）処理する工程とを有することを特徴とする。ここで瞬間的な電流量とは、イベントが発生したときに、そのイベントに起因して発生する電流量のことをいい、イベントとしてセルの出力が変化した際などに、セルに流れる電流量をそのイベントの発生した時刻に瞬時に消費されるものとして扱ったものを瞬間的な電流量とする。

【0041】本発明の第2によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を一定離散幅にて平均化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記一定離散幅にて平均化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0042】本発明の第3によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を矩形波の面積が各イベントの電流量になるように各イベント情報毎に矩形波の高さを算出した一定幅の矩形波状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0043】本発明の第4によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を矩形波の面積が各イベントの電流量になるように矩形波の幅と高さを算出した相似型の矩形波状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0044】本発明の第5によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量算出する工程と、前記電流量と矩形波の幅と高さの関係を示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0045】本発明の第6によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記入力波形鈍りと矩形波の幅と高さの関係を示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0046】本発明の第7によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記出力負荷容量と矩形波の幅と高さの関係を示すテーブルを用いて矩形波状にモデル化する工程を有し、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電

流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0047】本発明の第8によれば、請求項1乃至7のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程がさらに各セルの電流量と電源抵抗成分から電圧降下成分を算出し、グローバルな電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする。

【0048】本発明の第9によれば、請求項1乃至7のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、さらに各セルの電流量と電源抵抗成分とオンチップバイパスコンデンサ成分から電圧降下成分を算出し、グローバルな電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする。

【0049】本発明の第10によれば、請求項1乃至7のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、さらに各セルの電源RCとセル電流源を過渡解析し、正確に電圧降下成分を算出し、グローバルな電圧降下成分と瞬間電流量の関係から、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする本発明の第11によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を三角波の面積が各イベントの電流量になるように各イベント情報毎に高さを算出した一定幅の三角波状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0050】本発明の第12によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を複数次の関数状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記複数次の関数状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0051】本発明の第13によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を指数関数状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記指数関数状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0052】本発明の第14によれば、請求項1乃至13のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程はさらに、瞬間的な電流量を貫通電流成分とチャージ電流成分に分けて別々にモデリングする工程を含むことを特徴とする。

【0053】本発明の第15によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、各セルの種類ごとにそのセルのピーク電流値をキャラクターライズしたライブラリを用いて矩形波の高さを算出

する工程と、前記瞬間的な電流量を前記矩形波の高さを算出する工程から算出したピーク電流値とし、面積が各イベントの電流量になるように矩形波状にモデル化する工程とを有し、前記FFT処理する工程は、前記矩形波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。

【0054】本発明の第16によれば、請求項15に記載の不要輻射解析方法において、前記矩形波の高さを算出する工程は、入力波形鈍りとピーク電流の関係を各セルの種類ごとにテーブル化し、キャラクタライズしたライブラリを用いて各セルごとにそのセルの波形鈍り情報からピーク電流値を算出する工程を含むことを特徴とする。

【0055】本発明の第17によれば、請求項15に記載の不要輻射解析方法において、前記矩形波の高さを算出する工程は、負荷容量とピーク電流の関係を各セルの種類ごとにテーブル化し、キャラクタライズしたライブラリを用いて各セルごとにそのセルの負荷容量情報からピーク電流値を算出する工程を含むことを特徴とする。

【0056】本発明の第18によれば、請求項15乃至17のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記矩形波の高さを算出する工程は、複合セルについてはピーク電流値を複数もたせ、キャラクタライズしたライブラリを用いて複数の矩形波の高さを算出する工程を含み、矩形波状にモデル化する工程は複数の矩形波にモデル化する工程であることを特徴とする。

【0057】本発明の第19によれば、請求項15乃至17のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記矩形波の高さを算出する工程は、FFセルのライズ／フォールそれぞれにピーク電流値をもたせ、キャラクタライズしたライブラリを用いて複数の矩形波の高さを算出する工程を含み、矩形波状にモデル化する工程は複数の矩形波にモデル化する工程であることを特徴とする。

【0058】本発明の第20によれば、請求項15乃至19のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記矩形波の高さを算出する工程が、各セルの状態毎に入力信号状態を考慮し、ピーク電流値をキャラクタライズしたライブラリを用いて矩形波の高さを算出する工程を含むことを特徴とする。

【0059】本発明の第21によれば、請求項15乃至20のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程はさらに、各セルの電流量と電源抵抗成分から電圧降下成分を算出し、各セル毎に電圧降下成分と瞬間電流量の関係をテーブル化し、キャラクタライズすることにより、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする。

【0060】本発明の第22によれば、請求項15乃至20のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、各セルの電流量と電源抵抗成分とオンチップバイパスコンデンサ成分から電圧降下成分

を算出し、各セル毎に電圧降下成分と瞬間電流量の関係をテーブル化し、キャラクタライズすることにより、各セルのイベントごとの瞬間的な電流量を補正する工程を含むことを特徴とする。

【0061】本発明の第23によれば、請求項8乃至10、21、22のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記補正する工程は、電圧降下成分の算出及び電流波形の補正処理を複数回繰り返して実施する工程を含むことを特徴とする。

【0062】本発明の第24によれば、請求項15乃至23のいずれかに記載の不要輻射解析方法において、前記瞬間的な電流量を算出する工程において、さらに瞬間的な電流量を貫通電流成分とチャージ電流成分に分けて別々にモデリングする工程を含むことを特徴とする。本発明の第25によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、前記瞬間的な電流量を三角波の面積が各イベントの電流量になるように、各イベント情報毎にセルの出力端子におけるスリュー情報を考慮して幅を算出するとともに、この幅に基づいて高さを算出した三角波状にモデル化する工程を有し、前記FFT処理する工程は、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。本発明の第26によれば、請求項25に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、さらに前記瞬間的な電流量を当該セルのイベントが立ち上がりもしくは立ち下り（ライズ／フォール）状態であるかを考慮して、それぞれの状態に応じた係数を乗じて算出し、三角波の面積が各イベントの電流量になるように、前記三角波の高さを算出する工程を含むことを特徴とする。本発明の第27によれば、請求項1に記載の不要輻射解析方法において、前記モデル化する工程は、複合セルについては各イベント情報毎の前記瞬間的な電流量を算出する工程と、前記出力負荷容量と入力および出力スリュー情報に基づいて三角波の幅と高さの関係を示すテーブルを用いて、複合セル内部の段数分に等しい複数個の三角形波状にモデル化する工程を有し、前記三角波状にモデル化する工程によって算出された電流変化情報をFFT処理する工程であることを特徴とする。本発明の第28の不要輻射解析装置によれば、論理シミュレーション装置と、前記論理シミュレーション装置に接続され、信号変化の発生時に生成され、発生対象である各セルのインスタンス名、その信号名、発生時刻、遷移情報を含む各イベント情報から瞬間的な電流量を算出する算出手段と、前記瞬間的な電流量をあらかじめ決定された規則に従ってモデル化するモデル化手段と、前記モデル化する工程によって算出された電流変化情報を高速フーリエ変換処理手段とを有し、前記FFT処理手段の出力に基づいて、LSIの不要輻射量を解析するようにしたことを特徴とする。

## 【0063】

【発明の実施の形態】（実施形態1）以下に本発明の第1の実施形態について説明する。この方法は、電流波形算出処理に特徴を有するもので、論理シミュレータから各セル毎にイベント情報を抽出し、これらのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間電流を一定の時間幅で平均化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果を高速フーリエ変換（FFT）することにより、対象回路の不要輻射（EMI）成分の周波数特性を得、EMI解析するようにしたことを特徴とするものである。

【0064】図1は本実施形態の全体フローを説明するブロック図である。EMI解析対象となる回路の回路データを表したネットリスト1、ネットリスト1を動作させるためのテストベクタ2、ネットリスト1構成する各セルの情報が記述されているライブラリ3からの情報に基づいてシミュレーションを行う論理シミュレータ4と、この論理シミュレータで算出された各セル毎のイベント情報5から電流波形を算出する電流波形算出処理部7と、この電流波形算出処理部7で算出された電流波形算出結果8に基づいてFFT処理部9でFFT処理を行い、EMI成分を算出することにより、解析対象回路のEMI解析結果10を得るようにしたもので、この電流波形算出処理部7に特徴を有するものである。ここでライブラリ3には各セルの種類毎にそのセルの論理、遅延情報、瞬間電流値情報が記述されている。論理シミュレータ4は何らかのイベントが発生する度にイベント情報5を出力する。ここで言うイベントとは、論理シミュレータ4内で何らかの信号変化が発生したことを指す。イベント情報5にはそのイベント情報を出力する原因となった処理対象のインスタンス名とその信号名、その時刻、信号の遷移情報が含まれている。インスタンス名とはネットリスト1を構成する各セル毎に付けられている固有名である。6は論理シミュレータ4から出力されるシミュレーション結果である。

【0065】この電流波形算出処理部7は、図2に詳細なブロック図を示すように、瞬間電流算出処理部11と、この瞬間電流算出処理部11で得られた処理対象となるインスタンスの瞬間電流情報から瞬間電流を算出し、この瞬間電流算出結果12に基づいて電流波形を一定時間幅で平均化するように構成されている。この瞬間電流算出処理部11は、論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出するもので、技術的には従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。すなわち、瞬間電流算出処理部11は論理シミュレータ4からのイベント情報5を受け、その処理対象となるインスタンスの瞬間電流情報をライブラリ3から抽出し、瞬間電流を算出する。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3は瞬間電流算出結果12

の例を示すイメージ図である。この図において、縦軸は電流量 $i_t$  (As)、横軸は時刻 $t$ である。Tは一定時間幅で平均化するための時間幅であり、前もって決定された定数である。 $\Delta t$ は解析における最小時間単位であり、論理シミュレータ4の最小時間単位とは異なる。 $t$ は現在処理時刻であり、論理シミュレータ4のシミュレーション時刻と一致する。 $i_t$ は瞬間電流値を表す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFT処理によりEMI成分を解析することができない。そこで電流波形平均化処理部13において瞬間電流算出結果12を一定時間幅で平均化するようにしたものである。

【0066】図4に電流波形平均化処理の処理フロー図を示す。以下の処理は平均化処理が終了するまで、すなわち $t$ がシミュレーションの終了時刻を超えるまで繰り返す（ステップ：1010）。まず平均化処理用の電流バッファである $I_b$ を0にする（1011）。次に現在時刻 $t$ が $t+T$ になるまで $I_b$ に $i_t(t)$ を加える（1012）（1013）。 $i_t(t)$ とは時刻 $t$ における瞬間電流値を示す。次に $I_b/T$ により時間幅 $T$ における平均電流値 $I_{avg}$ を算出する（1014）。次に変数 $x$ が $t-T$ から $t$ になるまで $I(x)$ に $I_{avg}$ を代入し、 $x$ に $\Delta t$ 加える（1015）（1016）。 $I(x)$ とは時刻 $x$ における電流値を示す。

【0067】上記電流波形平均化処理の処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図5に図3の瞬間電流算出結果における $T=5$ の時の電流波形算出結果8を示す。この波形をFFT処理部9においてFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。EMI解析結果10のサンプルを図6に示す。この結果により、対象回路のEMIの周波数特性を得ることができ、設計者はそのEMIの対処方法を検討することができる。

【0068】この方法によれば、電流波形を平均化処理によりモデル化し、これにFFT処理を行うようにしているため、高精度の解析が可能であり、またトランジスタレベルでの解析に比べ、短時間で処理を行うことができる。

【0069】（実施形態2）次に本発明の第2の実施形態について説明する。この方法では、論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を瞬間電流値が面積となるように波高値を算出した一定の時間幅の矩形波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する。

【0070】図7に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。 $i_t$ は瞬間電流値であり、 $t$

は現在処理時刻である。Wはモデル化する矩形波の時間幅である。この値は前もって決定された定数である。hは矩形波の高さであり、iとWから算出する。

【0071】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図8に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形がδ関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。そしてモデル化に際し、この方法ではモデル化する矩形波の面積が瞬間電流値になるように矩形波の高さを算出する第1の矩形波高算出処理部20と、瞬間電流算出結果12を一定時間幅の矩形波にモデル化する第1の矩形波整形処理部21とによって電流波形を算出するように構成されている。

【0072】図9に矩形波高算出処理を含めた矩形波整形処理フローを示す。以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(ステップ:1020)。矩形波の面積は $W \times h$ であり、その値はiである。そこで $i/W$ により矩形波の高さhを算出する(1021)。iは処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。この処理が第1の矩形波高算出処理部20に相当する。次に変数xが $-W/2$ から $W/2$ まで $I(t+x)$ にhを加算し、xに $\Delta t$ 加える(1022)(1023)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第1の矩形波整形処理部21に相当する。

【0073】上記、矩形波高算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図10に図3の瞬間電流算出結果における $W=5$ の時の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0074】この方法によれば、電流波形を矩形波処理によりモデル化し、これにFFT処理を行うようにしているため、より高精度の解析が可能であり、またトランジスタレベルでの解析に比べ、短時間で処理を行うことができる。

【0075】(実施形態3)次に本発明の第3の実施形態について説明する。この方法では、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を瞬間電流値が面積となるように時間幅と波高値の比を一定とした矩形波

にモデル化することにより、現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0076】図11に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。iは瞬間電流値であり、tは現在処理時刻である。Kは矩形波の波高値と時間幅の比であり、今回の例では波高値/時間幅とする。この比は一定であり、この値は前もって適当な値を決定しておく。hは矩形波の高さであり、iとKの値から算出する。wは矩形波の時間幅であり、iと先に算出したhを用いて算出する。

【0077】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図12に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形がδ関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。

【0078】30はモデル化する矩形波の波高値と時間幅の比が一定であり、矩形波の面積が瞬間電流値になるように矩形波の高さを算出する第2の矩形波高算出処理部である。31は矩形波の波高値と時間幅の比が一定であり、矩形波の面積が瞬間電流値になるように矩形波の時間幅を算出する第2の矩形波幅算出処理部である。32は瞬間電流算出結果12を波高値と時間幅の比が一定である矩形波にモデル化する第2の矩形波整形処理部である。

【0079】図13に第2の矩形波高算出処理及び第2の矩形波幅算出処理を含めた第2の矩形波整形処理フローを示す。以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1030)。iは矩形波の面積の関数と $K=h/w$ の関係から矩形波の波高は次式1

【数1】

$$h = \sqrt{(i \times K)}$$

で表される。この式を用いて矩形波の高さhを算出する(1031)。iは処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。Kは矩形波の波高値と時間幅の比であり、前もって決定しておいた定数である。この処理が第2の矩形波高算出処理部30に相当する。次に矩形波の面積は $w \times h$ であるので、 $w = i/h$ の関係から矩形波の時間幅wを算出する(32)。iは処理対象イベント

のセルに関する瞬間電流値であり、 $h$ は処理(1031)によって算出した矩形波の高さである。この処理が第2の矩形波幅算出処理部31に相当する。次に変数 $x$ が $-W/2$ から $W/2$ に変化するまで $I(t+x)$ に $h$ を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1033)(1034)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第2の矩形波整形処理部32に相当する。

【0080】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図14に図3の瞬間電流算出結果における電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得ることができる。

【0081】この方法によれば、電流波形を時間幅と波高値の比を一定とした矩形波処理によりモデル化し、これにFFT処理を行うようにしているため、より高精度の解析が可能である。特に電流量が大きいLSIでは、電流の流れる時間も大であるため、この方法によれば、より現実に近いモデルを得ることができるため、より高精度の処理が可能となる。またトランジスタレベルでの解析に比べ、短時間で処理を行うことができる。

(実施形態4)次に本発明の第4の実施形態について説明する。この方法では論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な電流を、瞬間電流値と矩形波の高さの関係を示すグローバルなテーブルを用いて瞬間電流値が面積である矩形波にモデル化することにより、現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。ここではグローバルなテーブルとはセルの種類に関係なく一般的に作成したテーブルを意味する。

【0082】図15に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。 $i$ は瞬間電流値であり、 $t$ は現在処理時刻である。 $h$ はモデル化する矩形波の高さであり、グローバルな瞬間電流値と矩形波の高さの関係を示したテーブルを用いて算出する。 $w$ は矩形波の時間幅であり、 $i$ と先に算出した $h$ を用いて算出する。

【0083】図16にグローバルな瞬間電流値と矩形波の高さの関係を示した $i-h$ テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。このテーブルはある $i$ のポイントにおける $h$ の値を示した物で、このテーブルの場合、 $i=0$ の時、 $h=0$ 、 $i=50$ の時、 $h=5$ 、 $i=100$ の時、 $h=20$ という意味である。実際には $i$ の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだグラフで表される。ある $i$ の値における $h$ の値( $h(i)$ )は $i-h$ テーブル内の $i$ に一番近い小さい値( $i1, h1$ )と大きい値( $i2, h$

2)の2ポイントを用いて次式2

【数2】

$$h = \frac{h2-h1}{i2-i1}(i-i1)+h1$$

で表される。

【0084】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図17に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。

【0085】本実施形態では、 $i-h$ テーブル40に、上記で説明したグローバルな瞬間電流値と矩形波の高さの関係がテーブル化されており(図16)、第3の矩形波高算出処理部41では、瞬間電流値と $i-h$ テーブル40からモデル化する矩形波の波高値を算出する。そして第3の矩形波幅算出処理部42では、矩形波の面積が瞬間電流値になるように第3の矩形波高算出処理部41から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する。そして第3の矩形波整形処理部43で、瞬間電流算出結果12を高さ第3の矩形波高算出処理部41から算出された矩形波の波高値であり、幅が第3の矩形波幅算出処理部42から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する。

【0086】図18に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第3の矩形波整形処理のフローを示す。まず $i-h$ テーブル40を読み込む(1040)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1041)。まず、 $i-h$ テーブル40内から $i$ に一番近い小さい値と大きい値の2点( $i1, h1$ )、( $i2, h2$ )を抽出する。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。図16のテーブルでは $i=70$ の場合、( $i1, h1$ )=(50, 5)、( $i2, h2$ )=(100, 20)がその値である(1042)。

【0087】次に前述の式2により矩形波の高さ $h$ を算出する(1043)。図16のテーブルでは $i=70$ の場合、 $h(70)=11$ となる。これらの処理(1042)(1043)が第3の矩形波高算出処理部41に相当する。次に矩形波の面積は $w \times h$ であるので、 $w=i/h$ の関係から矩形波の時間幅 $w$ を算出する(1044)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値

であり、 $h$ は第3の矩形波高算出処理部41によって算出した矩形波の高さである。図16のテーブルでは $i = 70$ の場合、 $w = 6.3$ である。この処理が第3の矩形波幅算出処理部42に相当する。次に変数 $x$ が $-W/2$ から $W/2$ に変化するまで $I(t+x)$ に $h$ を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1045)(1046)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第3の矩形波整形処理部43に相当する。

【0088】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図19に40  $i-h$ テーブルが図16のテーブルであり、瞬間電流値が70であった場合の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0089】(実施形態5)次に本発明の第5の実施形態について説明する。この方法では、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流をグローバルな入力波形鈍りと瞬間電流値と矩形波の高さの関係を示すテーブルを用いて瞬間電流値が面積である矩形波にモデル化することにより、現実に近い入力波形鈍りを考慮した電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTする\*

$$h(s,i) = \left( \frac{h(s1,i1)(s2-s)}{(s2-s1)} + \frac{h(s2,i1)(s-s1)}{(s2-s1)} \right) \times \left( \frac{i2-i}{i2-i1} \right) + \left( \frac{h(s1,i2)(s2-s)}{(s2-s1)} + \frac{h(s2,i2)(s-s1)}{(s2-s1)} \right) \times \left( \frac{i-i1}{i2-i1} \right)$$

で表される。

【0091】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図21に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。

【0092】 $i-s-h$ テーブル50が用いられているが、これは上記で説明したグローバルな瞬間電流値と入力波形鈍りと矩形波の高さの関係を示したテーブルである(図20)。そして第4の矩形波高算出処理部52において、ネットリスト1内の各インスタンス毎の入力波形鈍り情報を記述したSlewデータ51から読み出された処理対象インスタンスの瞬間電流値および入力波形鈍りと、 $i-s-h$ テーブル50とからモデル化する矩形波の波高値が算出される。53は矩形波の面積が瞬間

\*ことにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0090】本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波の関係は実施形態4の矩形波モデル(図15)と同じであるが、 $w$ 、 $h$ の算出に入力波形鈍りの影響を考慮している点異なる。図20にグローバルな瞬間電流値と入力波形鈍りと矩形波の高さの関係を示した $i-s-h$ テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。このテーブルはある $i$ と $s$ のポイントにおける $h$ の値を示した物である。 $s$ は入力波形鈍り(Slew)を意味する。このテーブルの場合、 $i=0$ 、 $s=0$ の時、 $h=0$ 、 $i=50$ 、 $s=0$ の時、 $h=5$ 、 $i=100$ 、 $s=0$ の時、 $h=14$ 、 $i=0$ 、 $s=2$ の時、 $h=0$ 、 $i=50$ 、 $s=2$ の時、 $h=6$ 、 $i=100$ 、 $s=2$ の時、 $h=20$ 、という意味である。実際には $i$ 、 $s$ の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだ3次元のグラフで表される。ある $s$ 、 $i$ の値における $h$ の値( $h(s,i)$ )は $i-s-h$ テーブル内の $i$ に一番近い小さい値( $i1$ )と大きい値( $i2$ )、 $s$ に一番近い小さい値( $s1$ )と大きい値( $s2$ )の組み合わせである $h(s1,i1)$ 、 $h(s1,i2)$ 、 $h(s2,i1)$ 、 $h(s2,i2)$ の4ポイントの値を用いて前述の式3

【数3】

電流値になるように第4の矩形波高算出処理部52から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する第4の矩形波幅算出処理部である。54は瞬間電流算出結果12を高さ第4の矩形波高算出処理部52から算出された矩形波の波高値であり、幅が第4の矩形波幅算出処理部53から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する第4の矩形波整形処理部である。

【0093】図22に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第4の矩形波整形処理のフローを示す。まず $i-s-h$ テーブル50を読み込む(1050)。次にSlewデータ51を読み込む(1051)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1052)。まず、 $i-s-h$ テーブル50内から $i$ に一番近い小さい値と大きい値と $s$ に一番近い小さい値と大きい値の組み合わせである4点 $h(s1,i1)$ 、 $h(s1,i2)$ 、 $h(s2,i1)$ 、 $h(s2,i2)$ を抽出する。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。 $s$ は処理対象イベントのセルに関する入力波形鈍りであり、処理対象インスタンス名とSlewデータ51から抽出する。

【0094】図20のテーブルでは $i=70$ 、 $s=1$ の場合、 $h(0,50)=5$ 、 $h(0,100)=14$ 、



$h(2, 50) = 6$ 、 $h(2, 100) = 20$ がその値である(1053)。次に前述の式3により矩形波の高さ $h$ を算出する(1054)。図20のテーブルでは $i = 70$ 、 $s = 1$ の場合、 $h(1, 70) = 10$ となる。これらの処理(1053)(1054)が第4の矩形波高算出処理部52に相当する。

【0095】次に矩形波の面積は $w \times h$ であるので、 $w = i/h$ の関係から矩形波の時間幅 $w$ を算出する(1055)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値であり、 $h$ は第4の矩形波高算出処理部52によって算出した矩形波の高さである。

【0096】図20のテーブルでは $i = 70$ 、 $s = 1$ の場合、 $w = 6.9$ である。この処理が第4の矩形波幅算出処理部53に相当する。次に変数 $x$ が $-W/2$ から $W/2$ に変化するまで $I(t+x)$ に $h$ を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1056)(1057)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第4の矩形波整形処理部54に相当する。

【0097】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図23に $i-s-h$ テーブル50が図20のテーブルであり、瞬間電流値が70、入力波形鈍りが1であった場合の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0098】(実施形態6)次に本発明の第6の実施形態について説明する。この方法では、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流をグローバルな出力負荷容量と瞬間電流値と矩形波の高さの関係を示すテーブルを用いて瞬間電流値が面積である矩形波にモデル化することにより、現実に近い出力負荷容量を考慮した電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0099】本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波の関係は実施形態4の矩形波モデル(図15)と同じであるが、 $w$ 、 $h$ の算出に出力負荷容量の影響を考慮している点異なる。図24にグローバルな瞬間電流値と出力負荷容量と矩形波の高さの関係を示した $i-c-h$ テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。このテーブルはある $i$ と $c$ のポイントにおける $h$ の値を示した物である。 $c$ は出力負荷容量を意味する。このテーブルの場合、 $i = 0$ 、 $c = 0$ の時、 $h = 0$ 、 $i = 50$ 、 $c = 0$ の時、 $h = 5$ 、 $i = 100$ 、 $c = 0$ の時、 $h = 20$ 、 $i = 0$ 、 $c = 20$ の時、 $h = 0$ 、 $i = 50$ 、 $c = 20$ の時、 $h = 8$ 、 $i = 100$ 、 $c = 20$ の時、 $h = 25$ 、という意味である。実際には $i$ 、 $c$ の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内

の各ポイントを結んだ3次元のグラフで表される。ある $c$ 、 $i$ の値における $h$ の値( $h(c, i)$ )は $i-c-h$ テーブル内の $i$ に一番近い小さい値( $i1$ )と大きい値( $i2$ )、 $c$ に一番近い小さい値( $c1$ )と大きい値( $c2$ )の組み合わせである $h(c1, i1)$ 、 $h(c1, i2)$ 、 $h(c2, i1)$ 、 $h(c2, i2)$ の4ポイントの値を用いて式4

【数4】

$$y = -\frac{2 \times h}{W} x + h$$

で表される。

【0100】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図25に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。

【0101】60は $i-c-h$ テーブルであり、上記で説明したグローバルな瞬間電流値と出力負荷容量と矩形波の高さの関係を示したテーブルである(図24)。61はネットリスト1内の各インスタンス毎の出力負荷容量情報を記述した容量データである。62は処理対象インスタンスの瞬間電流値と出力負荷容量と $i-c-h$ テーブル60からモデル化する矩形波の波高値を算出する第5の矩形波高算出処理部である。63は矩形波の面積が瞬間電流値になるように第5の矩形波高算出処理部62から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する第5の矩形波幅算出処理部である。64は瞬間電流算出結果12を高さが第5の矩形波高算出処理部62から算出された矩形波の波高値であり、幅が第5の矩形波幅算出処理部63から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する第5の矩形波整形処理部である。

【0102】図26に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第5の矩形波整形処理のフローを示す。まず $i-c-h$ テーブル60を読み込む(1060)。次に容量データ61を読み込む(1061)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1062)。まず、 $i-c-h$ テーブル60内から $i$ に一番近い小さい値と大きい値と $c$ に一番近い小さい値と大きい値の組み合わせである4点 $h(c1,$

$i1)$ 、 $h(c1, i2)$ 、 $h(c2, i1)$ 、 $h(c2, i2)$ を抽出する。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。 $c$ は処理対象イベントのセルに関する出力負荷容量であり、処理対象インスタンス名と容量データ61から抽出する。

【0103】図24のテーブルでは $i=70$ 、 $c=10$ の場合、 $h(0, 50)=5$ 、 $h(0, 100)=20$ 、 $h(20, 50)=8$ 、 $h(20, 100)=25$ がその値である(1063)。次に前述の式4により矩形波の高さ $h$ を算出する(1064)。図24のテーブルでは $i=70$ 、 $c=10$ の場合、 $h(10, 70)=12.9$ となる。これらの処理(1063)(1064)が第5の矩形波高算出処理部62に相当する。次に矩形波の面積は $w \times h$ であるので、 $w=i/h$ の関係から矩形波の時間幅 $w$ を算出する(1065)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値であり、 $h$ は第5の矩形波高算出処理部62によって算出した矩形波の高さである。

【0104】図24のテーブルでは $i=70$ 、 $c=10$ の場合、 $w=5.4$ である。この処理が第5の矩形波幅算出処理部63に相当する。次に変数 $x$ が $-W/2$ から $W/2$ に変化するまで $I(t+x)$ に $h$ を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1066)(1067)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第5の矩形波整形処理部64に相当する。

【0105】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図27に $i-c-h$ テーブル60が図24のテーブルであり、瞬間電流値が70、出力負荷容量が10であった場合の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0106】この方法によれば、グローバルな出力負荷容量と瞬間電流値と矩形波の高さの関係から矩形波モデルを形成しているため、より現実に近いモデルを得ることができ、より高精度の処理が可能となる。

【0107】(実施形態7)次に本発明の第7の実施形態について説明する。図28は本発明の第7の実施形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第1の実施の形態において図1を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、データA9、A10とステップA11及びステップA11の出力データA6を追加した構成となっている。第1の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。A9はEMI解析対象となる半導体集積回路のレイアウトデータである。A10は電流量と電源電圧降下量の関係を示したI-Vテーブルファイル(もしくはI-V関数)である。A11は電源電圧降下量を算出し、ステップ11から算出された瞬間電流

算出結果に対して補正を行う電源電圧降下算出/瞬間電流補正処理部である。A6は、前記ステップA11の出力結果であり電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果である。

【0108】図29は本発明の第7の実施の形態における電源電圧降下算出/瞬間電流補正処理部A11の処理フローを示したブロック図であり、本図を参照しながらステップA11の機能を説明する。尚、データ12は第1の実施の形態で詳細を説明しているため、同一符号を付して説明を省略する。ステップA11は、電源ネット抽出処理部B2、各セグメント毎の抵抗値算出処理部B6、各セグメントに流れる電流値算出処理部B3、各セグメント毎の電圧降下値算出処理部B7、インスタンス毎の電圧降下値算出処理部B10、電流値補正処理部B12の各ステップで構成されている。

【0109】以下、各ステップについて説明する。ステップB2ではレイアウトデータA9が入力され、電氣的接続情報を認識した上で電源配線形状を判別する。判別した電源配線形状に対して、配線の分岐、配線幅の変化、折れ曲がり及び別配線層への乗り換え等を識別し、それぞれにおいて電源配線を分割させることにより、電源配線の各セグメント情報B4が生成される。この生成データベースB4には各セグメント毎の配線長及び配線幅の情報が含まれる。

【0110】図30は本ステップにおける入力データA9の模式図である。図31は本ステップにおける生成データベースB4の模式図であり、この図では特に電源・グランド配線それぞれについて、分岐により分割された各セグメント1~12をSg1~12として示している。ステップB6では前記ステップB2より生成された電源配線の各セグメント情報B4が入力され、各セグメント毎の配線長及び配線幅の情報と各配線層毎に予め決まっている抵抗値パラメータにより、各セグメント毎の抵抗値情報B8が生成される。

【0111】図32は本ステップにおける生成データベースB8の模式図であり、この図では電源(VDD)配線における各セグメントSg1~6のそれぞれの抵抗値をR1~6として示している。ステップB3では瞬間電流算出結果12に基づいたインスタンス毎の瞬間電流情報B1と前記ステップB2より生成された電源配線の各セグメント情報B4が入力され、各インスタンス毎の電流値を電源配線の各セグメントに流れるそれぞれの電流成分に分配し、各セグメント毎に分配されたインスタンス毎の電流成分を合算することにより、各セグメント毎の電流値情報B5が生成される。

【0112】図33は本ステップにおける生成データベースB5の模式図であり、この図ではインスタンス1~3のそれぞれの電流値をI1~3とし、各セグメントSg1~6に流れるそれぞれの電流値をIs1~6として示している。この場合、 $Is1=I1+I2+I3$ 、 $I$



$s2 = I2 + I3$ 、 $Is3 = I3$ 、 $Is4 = I1$ 、 $Is5 = I2$ 、 $Is6 = I3$ となる。ステップB7では前記ステップB3より生成された各セグメント毎の電流値情報B5と前記ステップB6より生成された各セグメント毎の抵抗値情報B8が入力され、オームの法則により、各セグメント毎の電圧降下値情報B9が生成される。

【0113】図34は本ステップにおける生成データベースB9の模式図であり、この図では各セグメントSg1～6のそれぞれの電圧降下値を $\Delta Vs1 \sim 6$ として示している。この場合、 $\Delta Vs1 = R1 * Is1$ 、 $\Delta Vs2 = R2 * Is2$ 、 $\Delta Vs3 = R3 * Is3$ 、 $\Delta Vs4 = R4 * Is4$ 、 $\Delta Vs5 = R5 * Is5$ 、 $\Delta Vs6 = R6 * Is6$ となる。ステップB10では前記ステップB7より生成された各セグメント毎の電圧降下値情報B9が入力され、各インスタンス毎の電流経路に則した各セグメントの電圧降下値を合算することにより、インスタンス毎の電圧降下値情報B11が生成される。

【0114】図35は本ステップにおける生成データベースB11の模式図であり、この図ではインスタンス1～3のそれぞれの電圧降下値を $\Delta V1 \sim 3$ と示している。この場合、 $\Delta V1 = \Delta Vs1 + \Delta Vs4$ 、 $\Delta V2 = \Delta Vs1 + \Delta Vs2 + \Delta Vs5$ 、 $\Delta V3 = \Delta Vs1 + \Delta Vs2 + \Delta Vs3 + \Delta Vs6$ となり、 $\Delta V1 \sim 3$ のそれぞれを各セグメントの抵抗値R1～6と各インスタンスの電流値I1～3で表すと、 $\Delta V1 = R1 * (I1 + I2 + I3) + R4 * I1$ 、 $\Delta V2 = R1 * (I1 + I2 + I3) + R2 * (I2 + I3) + R5 * I2$ 、 $\Delta V3 = R1 * (I1 + I2 + I3) + R2 * (I2 + I3) + R3 * I3 + R6 * I3$ となる。

【0115】ステップB12では前記ステップB10より生成されたインスタンス毎の電圧降下値情報B11と電流量と電源電圧降下量の関係を示したI-Vテーブルファイル（もしくはI-V関数）A10が入力され、瞬間電流算出結果12に対して補正処理が施されることにより、各インスタンス毎に電源配線抵抗成分に依存する電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果A6が生成される。

【0116】以上のように、本発明の第7の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、電源配線抵抗成分による電圧降下分を考慮に入れることにより、前記第1の実施の形態によって得られた瞬間電流算出結果12に対して、実際の半導体集積回路における電源電圧変動の物理現象を考慮させることが出来るため、より正確な電流波形のモデリングが実現でき、電流波形をFFT処理することで得られる解析対象回路の周波数特性において、不要な高調波成分の低減が可能となる。

【0117】また、本実施の形態7では第1の実施の形態において説明したが、第2～6の実施の形態のそれぞれにおいても同様の効果が得られる。

（実施形態8）次に本発明の第8の実施形態について説明する。図36は本発明の第8の実施の形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第7の実施の形態において図28を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、データC1を追加しステップA11をステップC2に変更した構成となっている。第1の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。

【0118】C1は電源・グランド間デカップリング容量値と電源電圧降下量の関係を示したC-Vテーブルファイル（もしくはC-V関数）である。C2は電源電圧降下量を算出し、前記ステップ11より生成された瞬間電流算出結果12の補正を行う電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部である。図37は本発明の第8の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部C2の処理フローを示したブロック図であり、本図を参照しながらステップC2の機能を説明する。尚、第7の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。また、データ12は第1の実施の形態で詳細を説明しているため、同一符号を付して説明を省略する。

【0119】ステップC2は、第7の実施の形態におけるステップA11に対し、電源・グランド配線における各セグメント間の容量値算出処理部D1を追加し、各セグメント毎の電圧降下値算出処理部B7をD3に変更した構成となっている。以下、各ステップについて説明する。ステップD1では第7の実施の形態におけるステップB2より生成された電源配線の各セグメント情報B4が入力され、ここでのデータベースB4に含まれている電源・グランド配線における各セグメント同士の重なり面積の情報と各配線層間毎に予め決まっている容量値パラメータにより、電源・グランド配線における各セグメント間の容量値情報D2が生成される。

【0120】図38は本ステップにおける生成データベースD2の模式図であり、この図ではセグメントSg1とSg7、Sg2とSg8、Sg3とSg9のそれぞれの容量値をC1～C3として示している。ステップD3では第7の実施の形態におけるステップB3より生成された各セグメント毎の電流値情報B5と第7の実施の形態におけるステップB6より生成された各セグメント毎の抵抗値情報B8と電源・グランド間デカップリング容量値と電源電圧降下量の関係を示したC-Vテーブルファイル（もしくはC-V関数）C1と前記ステップD1より生成された電源・グランド配線における各セグメント間の容量値情報D2が入力され、オームの法則及びC-Vテーブルに則した補正処理が施されることにより、抵抗成分に加えてデカップリング容量成分の効果を反映した各セグメント毎の電圧降下値情報B9が生成される。

【0121】図39は本ステップにおける生成データベ

ースB9の模式図であり、この図では各セグメントSg1～6のそれぞれの電圧降下値を $\Delta V_{s11} \sim \Delta V_{s61}$ として示している。この場合、 $\Delta V_{s11} = f(C1, \Delta V_{s1})$ 、 $\Delta V_{s21} = f(C2, \Delta V_{s2})$ 、 $\Delta V_{s31} = f(C3, \Delta V_{s3})$ 、 $\Delta V_{s41} = \Delta V_{s4}$ 、 $\Delta V_{s51} = \Delta V_{s5}$ 、 $\Delta V_{s61} = \Delta V_{s6}$ となる。

【0122】以上のように、本発明の第8の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、電源配線抵抗成分による電源電圧降下分に加えて電源・グランド間デカップリング容量効果分の電源電圧変動に対する電流値補正を新たに組み入れたことにより、前記第1の実施の形態によって得られた各インスタンスの瞬間電流算出結果12に対して、実際の半導体集積回路における電源電圧変動の物理現象を考慮させることが出来るため、より一層正確な電流波形のモデリングが実現でき、電流波形をFFT処理することで得られる解析対象回路の周波数特性において、不要な高調波成分の低減がさらに可能となる。

【0123】また、本実施の形態8では第1の実施の形態において説明したが、第2～6の実施の形態のそれぞれにおいても同様の効果が得られる。

(実施形態9)次に本発明の第9の実施形態について説明する。図40は本発明の第9の実施の形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第7の実施の形態において図28を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、ステップA11をステップE1に変更した構成となっている。第1の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。E1は電源電圧降下量を算出し、ステップ11から算出された瞬間電流の補正を行う電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部である。

【0124】図41は本発明の第9の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部E1の処理フローを示したブロック図であり、本図を参照しながらステップE1の機能を説明する。尚、第7及び第8の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。

【0125】また、データ12についても第1の実施の形態で詳細を説明しているため、同一符号を付して説明を省略する。ステップE1は、第8の実施の形態におけるステップC2に対し、各セグメントに流れる電流値算出処理部B3、各セグメント毎の電圧降下算出処理部D3及びインスタンス毎の電圧降下算出処理部B10を削除し、新たに過渡解析処理部F1を追加した構成となつ\*

\*ている。

【0126】以下、各ステップについて説明する。ステップF1では前記ステップ11より生成された瞬間電流算出結果12に基づいたインスタンス毎の瞬間電流情報B1と第8の実施の形態におけるステップB6より生成された各セグメント毎の抵抗値情報B8と第8の実施の形態におけるステップD1より生成された各セグメント間の容量値情報D2が入力され、SPICEに代表される過渡解析シミュレータを使用した解析により、インスタンス毎の電圧降下値情報B11が生成される。

【0127】以上のように、本発明の第9の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、電源配線抵抗及び電源・グランド間デカップリング容量効果分の電源電圧変動を過渡解析シミュレータにて求めることにより、前記第1の実施の形態によって得られた瞬間電流算出結果12に対して、実際の半導体集積回路における電源電圧変動の物理現象を忠実に反映させることが出来るため、従来例で示した高精度な不要輻射解析を実現しつつ、大規模回路にも適用し得る高速な不要輻射解析が可能となる。

【0128】また、本実施の形態9では第1の実施の形態において説明したが、第2～6の実施の形態のそれぞれにおいても同様の効果が得られる。

【0129】(実施形態10)次に本発明の第10の実施形態について説明する。実施形態2～9では論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、その瞬間的な電流波形を三角波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることが出来る。以下にその例として、瞬間的な変化電流を瞬間電流値が面積となるように波高値を算出した一定の時間幅の三角波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0130】図42に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した三角波を示す。iは瞬間電流値であり、tは現在処理時刻である。Wはモデル化する三角波の時間幅であり、定数である。この値は前もって適当な値を決定しておく。hは三角波の高さであり、iとWから算出する。時刻t+xにおける電流値は次式5

【数5】

$$h(c,i) = \left( \frac{h(c1,i1)(c2-c)}{(c2-c1)} + \frac{h(c2,i1)(c-c1)}{(c2-c1)} \right) \left( \frac{i2-i}{i2-i1} \right) + \left( \frac{h(c1,i2)(c2-c)}{(c2-c1)} + \frac{h(c2,i2)(c-c1)}{(c2-c1)} \right) \left( \frac{i-i1}{i2-i1} \right)$$

で表される。また時刻t-xにおける電流値も同式5で表される。

【0131】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図43に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シ

ミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形がδ関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。100はモデル化する三角波の面積が瞬間電流値になるように三角波の高さを算出する三角波高算出処理部である。101は瞬間電流算出結果12を一定時間幅の三角波にモデル化する三角波整形処理部である。

【0132】図44に三角波高算出処理を含めた三角波整形処理フローを示す。以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1100)。三角波の面積は $W \times h / 2$ であり、その値は $i$ である。そこで $2 \times i / W$ により三角波の高さ $h$ を算出する(1101)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。この処理が三角波高算出処理部100に相当する。次に変数 $x$ が0から $W/2$ まで $I(t+x)$ と $I(t-x)$ に前述の式5を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1102)(1103)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値であり、 $I(t-x)$ は時刻 $t-x$ における全てのセルの電流値である。この処理が三角波整形処理部101に相当する。

【0133】上記、三角波高算出処理と三角波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図45に図3の瞬間電流算出結果における $W=5$ の時の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0134】(実施形態11)次に本発明の第11の実施形態について説明する。実施形態2～9では論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、この方法では、その瞬間的な電流波形を複数次の関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができる。以下にその例として、瞬間的な変化電流を瞬間電流値が面積となるように波高値を算出した一定の時間幅の複数次関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0135】図46に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した複数次関数を示す。 $i$ は瞬間電流値であり、 $t$ は現在処理時刻である。 $W$ はモデル化する複数次関数の時間幅であり、定数である。この値は前もって適当な値を決定しておく。 $h$ はモデル化する複数次関数の高さであり、 $i$ と $W$ から算出する。今回の例ではモデル

化する複数次関数の式を次式6

【数6】

$$y = a(x - W)^2(x + W)^2$$

とする。複数次関数モデルの幅は $2 \times W$ とする。

【0136】複数次関数の高さ $h$ は前述の式6において $x=0$ のときであるので、次式7

【数7】

$$h = a \times W^4$$

で表される。

【0137】この複数次関数モデルの面積は式8

【数8】

$$S = \frac{16}{15} a \times W^5$$

で表される。この面積は瞬間電流値 $i$ に等しいことから、 $a$ は $W$ と $i$ を用いて式9

【数9】

$$a = \frac{15}{16 \times W^5} i$$

で表される。

【0138】前述の式9を用いて $a$ を算出することにより、モデル化する複数次関数モデルの高さが決定する。 $W=2.5$ 、 $i=100$ の時前述の式9より $a=0.96$ 、前述の式7より $h=37.5$ 、 $i=50$ の時前述の式9より $a=0.48$ 、前述の式7より $h=18.75$ と複数次関数モデルの高さを算出することができる。

【0139】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図47に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。

【0140】図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形がδ関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。

【0141】110はモデル化する複数次関数の面積が瞬間電流値になるように複数次関数の高さを算出する複数次関数波高算出処理部である。111は瞬間電流算出結果12を一定時間幅の複数次関数にモデル化する複数次関数波整形処理部である。

【0142】図48に複数次関数波高算出処理を含めた複数次関数波整形処理フローを示す。以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す

(1110)。まず、前述の式9を用いて複数次関数の波高依存係数 $a$ を算出する(1111)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。 $W$ は波幅に依存する定数である。この処理が110複数次関数波高算出処理部に相当する。

【0143】次に変数 $x$ が $-W$ から $W$ まで $I(t+x)$ に前述の式6を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1112)

(1113)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が111複数次関数波整形処理部に相当する。

【0144】上記、複数次関数波高算出処理と複数次関数波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図49に図3の瞬間電流算出結果における $W=2.5$ の時の電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

(実施形態12)次に本発明の第12の実施形態について説明する。実施形態2～9では論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、この方法では、その瞬間的な電流波形を複素関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができる。

【0145】以下にその例として、グローバルな瞬間的な変化電流とモデル化する複素関数の高さの関係を表したテーブルと瞬間的な変化電流とモデル化する複素関数の時間幅の関係を表したテーブルを用いて複素関数の高さ、幅を算出し、複数次関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0146】図50に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した複素関数を示す。 $i$ は瞬間電流値であり、 $t$ は現在処理時刻である。 $h$ はモデル化する関数の高さであり、グローバルな瞬間的な変化電流とモデル化する複素関数の高さの関係を表したテーブルを用いて算出する。

【0147】図51にグローバルな瞬間電流値と矩形波の高さの関係を表した $i-h$ テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。このテーブルはある $i$ のポイントにおける $h$ の値を示した物で、このテーブルの場合、 $i=0$ の時、 $h=0$ 、 $i=50$ の時、 $h=10$ 、 $i=100$ の時、 $h=40$ という意味である。実際には $i$ の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだグラフで表される。ある $i$ の値における $h$ の値( $h(i)$ )は $i-h$ テーブル内の $i$ に

一番近い小さい値( $i_1, h_1$ )と大きい値( $i_2, h_2$ )の2ポイントを用いて前述の式2で表される。 $w$ はモデル化する関数の時間幅であり、グローバル瞬間的な変化電流とモデル化する複素関数の時間幅の関係を表したテーブルを用いて算出する。

【0148】図52にグローバルな瞬間電流値と矩形波の幅の関係を表した $i-w$ テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。このテーブルはある $i$ のポイントにおける $w$ の値を示した物で、このテーブルの場合、 $i=0$ の時、 $w=0$ 、 $i=20$ の時、 $w=1$ 、 $i=100$ の時、 $w=1.5$ という意味である。実際には $i$ の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだグラフで表される。

【0149】ある $i$ の値における $h$ の値( $w(i)$ )は $i-w$ テーブル内の $i$ に一番近い小さい値( $i_1, w_1$ )と大きい値( $i_2, w_2$ )の2ポイントを用いて式10

【数10】

$$w(i) = \frac{w_2 - w_1}{i_2 - i_1} (i - i_1) + w_1$$

で表される。

【0150】今回の例ではモデル化する複素関数の式を前述の式11とする。この関数はガウス関数と呼ばれている。この式において $x=0$ のとき、この式の値は $h$ となるため、 $h$ はガウス関数の高さを表している。この式において $x=3 \times w$ の時、この式の値は $0.0001 \times h$ となり、高さの $0.01\%$ となる。そこでこの値をモデル化する関数の時間幅の限界とし、関数の時間幅を $6 \times w$ とした。

【0151】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図53に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。

【0152】図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。40は $i-h$ テーブルであり、上記で説明したグローバルな瞬間電流値とガウス関数の高さの関係を表したテーブルである(図51)。120は瞬間電流値と40 $i-h$ テーブルからモデル化するガウス関数の波高値を算出するガウス関数波高算出処理部である。

【0153】121は $i-w$ テーブルであり、上記で説明したグローバルな瞬間電流値とガウス関数の幅の関係を

20

30

40

50

を示したテーブルである(図52)。122は瞬間電流値と121 i-wテーブルからモデル化するガウス関数の幅を算出するガウス関数波幅算出処理部である。123は瞬間電流算出結果12を高さ120ガウス関数波高算出処理部から算出されたガウス関数の波高値であり、幅が122ガウス関数波幅算出処理部から算出されたガウス関数の幅であるガウス関数にモデル化するガウス関数波整形処理部である。

【0154】図54にガウス関数波高算出処理及びガウス関数波幅算出処理を含めたガウス関数波整形処理フローを示す。まず40 i-hテーブルを読み込む(1120)。次に121 i-wテーブルを読み込む(1121)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1122)。まず、40 i-hテーブル内からiに一番近い小さい値と大きい値の2点(i1, h1)、(i2, h2)を抽出する(1123)。iは処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。

【0155】図51のテーブルではi=50の場合、(i1, h1)=(0, 0)、(i2, h2)=(50, 5)がその値である。i=100の場合、(i1, h1)=(50, 5)、(i2, h2)=(100, 20)がその値である。次に前述の式2によりガウス関数の高さhを算出する(1124)。図51のテーブルではi=50の場合、h(50)=10、i=100の場合、h(100)=40となる。これらの処理(1123)(1124)がガウス関数波高算出処理部120に相当する。

【0156】次にi-wテーブル121内からiに一番近い小さい値と大きい値の2点(i1, w1)、(i2, w2)を抽出する(1125)。iは処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。図52のテーブルではi=50の場合、(i1, w1)=(0, 0)、(i2, w2)=(20, 1)がその値である。i=100の場合、(i1, w1)=(20, 1)、(i2, w2)=(100, 1.5)がその値である。

【0157】次に前述の式10によりガウス関数の幅wを算出する(1126)。図52のテーブルではi=50の場合、w(50)=1.3、i=100の場合、w(100)=1.5となる。これらの処理(1125)(1126)が122ガウス関数波幅算出処理部に相当する。

【0158】次に変数xが-3×wから3×wに変化するまでl(t+x)に、式11

【数11】

$$y = h \times e^{-\left(\frac{x}{w}\right)^2}$$

を加算し、xにΔt加える(1127)(1128)。

l(t+x)は時刻t+xにおける全てのセルの電流値

である。この処理が123ガウス関数波整形処理部に相当する。

【0159】上記、ガウス関数波高算出処理、ガウス関数波幅算出処理とガウス関数波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。図55にi-hテーブル40が図51のテーブルであり、i-wテーブル121が図52であった場合の図3の瞬間電流算出結果における電流波形算出結果8の例を示す。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0160】(実施形態13)次に本発明の第13の実施形態(請求項14)の不要輻射解析方法について説明する。実施形態13は、請求項2乃至10における電流波形推定情報を、貫通電流に依存する要素と、チャージ電流に依存する要素に分けてモデル化することを特徴とする。ここで貫通電流とは、回路素子を構成するCMOSトランジスタ構造において、トランジスタのゲート端子側に信号変化が発生した時に、PチャネルMOSトランジスタ(以下PMOSと示す)、NチャネルMOSトランジスタ(以下NMOSと示す)が瞬時同時に駆動状態となるがために、PMOS、NMOSそれぞれのソース端子・ドレイン端子間を貫いて流れる電流を示している。チャージ電流とは、回路素子の出力負荷容量に電荷を貯える、あるいは放出する際に流れる電流を示している。貫通電流は、入力信号変化とほぼ同時に発生し、チャージ電流は入力信号変化からやや遅れて出力信号変化とともに流れる。従って、電流波形推定情報のうち貫通電流に依存する要素とチャージ電流に依存する要素を分けて扱うことにより、より正確な電流波形を推定することが可能となる。図56に請求項2の一定幅で離散化する手法を用いた請求項14の不要輻射解析方法の実施例についてその構成を示す。

【0161】同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、回路接続情報記憶手段7301と、信号変化パターン記憶手段7302と、素子電流量記憶手段7303と、電流推定基礎情報記憶手段7306と、総電流量記憶手段7304と、総電流量算出手段7305とからなる電流量解析手段を備えている。

【0162】次に、これらの図56の不要輻射解析方法を構成する個々の要素について説明するとともに、図110に示す回路接続情報と、図111に示す信号変化パターンと、図57に示す素子電流量と、図59に示す電流推定基礎情報とを用いて図58に示す総電流量を算出する手順を説明する。回路接続情報記憶手段7301、信号変化パターン記憶手段7302については、従来例の回路接続情報記憶手段1001、信号変化パターン記憶手段1002と同一であるため説明を割愛する。

【0163】素子電流量記憶手段7303は、各素子の外部端子が1度変化した際に流れる総電流量の情報であ

る素子電流量情報を貫通電流成分およびチャージ電流成分それぞれに分けて記憶するものであり、あらかじめ図 57 に示すような素子電流量情報を記憶している。7401 はフリップフロップ FF のクロック入力端子 CK の信号が変化する時の貫通電流成分電流量をあらわしている。7402 はフリップフロップ FF のクロック入力端子 CK の信号が変化する時のチャージ電流成分電流量をあらわしている。7403 はフリップフロップ FF の出力端子 Q の信号が変化する時の貫通電流成分電流量をあらわしている。7404 はフリップフロップ FF の出力端子 Q の信号が変化する時のチャージ電流成分電流量をあらわしている。7405 はバッファ BUF の出力端子 Y の信号が変化した時の貫通電流成分電流量をあらわしている。7406 はバッファ BUF の出力端子 Y の信号が変化した時のチャージ電流成分電流量をあらわしている。電流推定基礎情報記憶手段 7306 は、貫通電流に対する離散幅と、チャージ電流に対する離散幅を図 59 に示す形式で記憶する。この電流推定基礎情報は、実施形態 1 (請求項 2) と同じく、各信号変化に対して流れる電流の総量を平均化する離散幅を持つものであるが、請求項 2 と異なり貫通電流成分離散幅 7601 とチャージ電流成分離散幅 7602 の 2 つの情報を有している。7601 は貫通電流成分電流量に対する離散幅をあらわしている。7602 はチャージ電流成分電流量に対する離散幅をあらわしている。

【0164】総電流量算出手段 7305 は、図 60 に示すようなフローチャートを有する。図 60 に示すフローチャートでは、従来方法に対して電流計算において計算された貫通電流とチャージ電流それぞれに対して個々の離散幅で平均化し、それらの電流波形を加算する処理 (ステップ 7706) が加わっている。ステップ 7701 で回路接続情報記憶手段 7301 に記憶された図 110 の回路接続情報を読み込む。ステップ 7702 で信号変化パターン記憶手段 7302 に記憶された図 111 の信号変化パターンを読み込む。ステップ 7703 で素子電流情報記憶手段 7303 に記憶された図 57 の素子電流量情報を読み込む。

【0165】ステップ 7704 で電流量推定基礎情報記憶手段 7306 に記憶された図 59 の電流推定基礎情報を読み込む。次にステップ 7705 で図 111 の信号変化パターンを図 110 の回路接続情報に与え、信号伝播を行うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部端子が信号変化を起こした際に、端子に対応する電流量の貫通電流成分とチャージ電流成分を各時刻における総電流量情報の貫通電流成分とチャージ電流成分にそれぞれ加算する。

【0166】次にステップ 7706 で総電流量情報の貫通電流成分とチャージ電流成分それぞれを図 59 に示す電流推定基礎情報に記憶された離散幅で離散化した結果を加算し図 58 に示す各時刻の総電流量として算出す

る。信号伝播完了後、ステップ 7707 で、算出された図 58 に示す各時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段 7304 に記憶する。これにより、図 14 に示す従来方式の電流に対して、図 58 に示すような実際に近い電流波形が得られる。

【0167】(実施形態 14) 次に本発明の第 14 の実施形態について説明する。この方法では、以下に各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な電流を波高値をそのセルのピーク電流値とし、瞬間電流値が面積となるように時間幅を算出した矩形波にモデル化することにより、現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果を FFT することにより、対象回路の EMI 成分の周波数特性を得、EMI 解析する。

【0168】図 15 に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。i は瞬間電流値であり、t は現在処理時刻である。

【0169】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態 1 と同様である。(図 1)

図 61 に本実施形態における電流波形算出処理部 7 の詳細なブロック図を示す。11 は論理シミュレータ 4 からの各セルのイベント情報 5 から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12 は瞬間電流算出処理部 11 から算出した瞬間電流算出結果である。図 3 に瞬間電流算出結果 12 の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が  $\delta$  関数になるため、FFT により EMI 成分を解析することができない。ここまでは実施形態 1 の電流波形算出処理と同じである。

【0170】130 はピーク電流ライブラリであり、各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値をキャラクタライズした値が含まれている。131 はピーク電流ライブラリ 130 からモデル化する矩形波の波高値を抽出する第 6 の矩形波高算出処理部である。132 は矩形波の面積が瞬間電流値になるように、第 6 の矩形波高算出処理部 131 から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する第 6 の矩形波幅算出処理部である。133 は瞬間電流算出結果 12 を高さが第 6 の矩形波高算出処理部 131 から抽出された矩形波の波高値であり、幅が第 6 の矩形波幅算出処理部 132 から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する第 6 の矩形波整形処理部である。

【0171】図 62 に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第 6 の矩形波整形処理のフローを示す。まずピーク電流ライブラリ 130 を読み込む (1130)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す (1131)。まず、ピーク電



流ライブラリ 130 から処理対象インスタンスのピーク電流値を抽出し、それを矩形波の波高  $h$  とする (1132)。この処理が第 6 の矩形波高算出処理部 131 に相当する。

【0172】次に矩形波の面積は  $w \times h$  であるので、 $w = i / h$  の関係から矩形波の時間幅  $w$  を算出する (1133)。 $i$  は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値であり、 $h$  は第 6 の矩形波高算出処理部 131 によって算出した矩形波の高さである。この処理が第 6 の矩形波幅算出処理部 132 に相当する。次に変数  $x$  が  $-W/2$  から  $W/2$  に変化するまで  $I(t+x)$  に  $h$  を加算し、 $x$  に  $\Delta t$  加える (1134) (1135)。 $I(t+x)$  は時刻  $t+x$  における全てのセルの電流値である。この処理が第 6 の矩形波整形処理部 133 に相当する。

【0173】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果 8 を得ることができる。この電流波形算出結果 8 を FFT 処理部 9 が FFT 処理することにより EMI 成分の周波数特性を得ることができ、EMI 解析結果 10 を得る事が

【0174】(実施形態 15) 次に本発明の第 15 の実施形態について説明する。この方法では、各セルの種類毎にそのセルの入力波形鈍りとピーク電流値の関係とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流をそのセルの入力波形鈍りを考慮したピーク電流値を波高値とし、瞬間電流値が面積となるように時間幅を算出した矩形波にモデル化することにより、

【0175】図 15 に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。 $i$  は瞬間電流値であり、 $t$  は現在処理時刻である。 $h$  はモデル化する矩形波の高さであり、各セル毎の入力波形鈍りと矩形波の高さの関係をキャラクタライズしたライブラリを用いて算出する。 $w$  は矩形波の時間幅であり、 $i$  と先に算出した  $h$  を用いて算出する。入力波形鈍りと矩形波の高さの関係を

【0176】図 63 に  $s-h$  テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。 $s$  は処理対象インスタンスの入力波形鈍りを示す。このテーブルはある  $s$  のポイントにおける  $h$  の値を示した物で、このテーブルの場合、 $s=0$  の時、 $h=0$ 、 $s=1$  の時、 $h=5$ 、 $s=2$  の時、 $h=20$  という意味である。実際には  $s$  の値は連続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだグラフで表される。ある  $s$  の値における  $h$

の値 ( $h(s)$ ) は  $s-h$  テーブル内の  $s$  に一番近い小さい値 ( $s_1, h_1$ ) と大きい値 ( $s_2, h_2$ ) の 2 ポイントを用いて式 12

【数 12】

$$h(s) = \frac{h_2 - h_1}{s_2 - s_1} (s - s_1) + h_1$$

で表される。

【0177】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態 1 と同様である。(図 1)

図 64 に本実施形態における電流波形算出処理部 7 の詳細なブロック図を示す。11 は論理シミュレータ 4 からの各セルのイベント情報 5 から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12 は瞬間電流算出処理部 11 から算出した瞬間電流算出結果である。図 3 に瞬間電流算出結果 12 の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が  $\delta$  関数になるため、FFT により EMI 成分を解析することができない。ここまでは実施形態 1 の電流波形算出処理と同じである。

【0178】 $s-h$  テーブルライブラリ 140 は、上記で説明した各セル毎の入力波形鈍りと矩形波の高さの関係をキャラクタライズしたものである(図 63)。51 は各インスタンス毎の入力波形鈍りを記述した Slew データである。141 は Slew データ 51 から処理対象インスタンスの入力波形鈍りを抽出し、 $s-h$  テーブルライブラリ 140 とその入力波形鈍りからモデル化する矩形波の波高値を算出する第 7 の矩形波高算出処理部である。142 は矩形波の面積が瞬間電流値になるように第 7 の矩形波高算出処理部 141 から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する第 7 の矩形波幅算出処理部である。143 は瞬間電流算出結果 12 を高さが第 7 の矩形波高算出処理部 141 から算出された矩形波の波高値であり、幅が第 7 の矩形波幅算出処理部 142 から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する第 7 の矩形波整形処理部である。

【0179】図 65 に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第 7 の矩形波整形処理フローを示す。まず  $s-h$  テーブルライブラリ 140 を読み込む (1140)。次に Slew データ 51 を読み込む (1141)。次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す (1142)。まず、 $s-h$  テーブルライブラリ 140 の処理対象のセルの種類の  $s-h$  テーブルから  $s$  に一番近い小さい値と大きい値の 2 点 ( $s_1, h_1$ )、( $s_2, h_2$ ) を抽出する。 $s$  は処理対象インスタンスの Slew データ 51 から抽出した入力波形鈍りである。

【0180】図 63 のテーブルでは  $s=1, 2$  の場合、

(s1, h1) = (1, 5)、(s2, h2) = (2, 20) がその値である (1143)。次に前述の式 11 により矩形波の高さ h を算出する (1144)。図 63 のテーブルでは s = 1, 2 の場合、h(1, 2) = 8 となる。これらの処理 (1143) (1144) が第 7 の矩形波高算出処理部 141 に相当する。

【0181】次に矩形波の面積は  $w \times h$  であるので、 $w = i / h$  の関係から矩形波の時間幅 w を算出する (1145)。i は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値であり、h は第 7 の矩形波高算出処理部 141 によって算出した矩形波の高さである。この処理が第 7 の矩形波幅算出処理部 142 に相当する。次に変数 x が  $-W/2$  から  $W/2$  に変化するまで  $I(t+x)$  に h を加算し、x に  $\Delta t$  加える (1146) (1147)。I(t+x) は時刻 t+x における全てのセルの電流値である。この処理が第 7 の矩形波整形処理部 143 に相当する。

【0182】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果 8 を得ることができる。この電流波形算出結果 8 を FFT 処理部 9 が FFT 処理することにより EMI 成分の周波数特性を得ることができ、EMI 解析結果 10 を得る事ができる。

(実施形態 16) 次に本発明の第 16 の実施形態について説明する。この方法では、各セルの種類毎にそのセルの出力負荷容量とピーク電流値の関係とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流をそのセルの出力負荷容量を考慮したピーク電流値を波高値とし、瞬間電流値が面積となるように時間幅を算出した矩形波にモデル化することにより、現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果を FFT することにより、対象回路の EMI 成分の周波数特性を得、EMI 解析する。

【0183】図 15 に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した矩形波を示す。i は瞬間電流値であり、t は現在処理時刻である。h はモデル化する矩形波の高さであり、各セル毎の出力負荷容量と矩形波の高さの関係をキャラクタライズしたライブラリを用いて算出する。w は矩形波の時間幅であり、i と先に算出した h を用いて算出する。出力負荷容量と矩形波の高さの関係をキャラクタライズしたライブラリは各セルの種類毎に c-h テーブルで構成されている。

【0184】図 66 に c-h テーブルの例とそのテーブルをグラフ化した図を示す。c は処理対象インスタンスの出力負荷容量を示す。このテーブルはある c のポイントにおける h の値を示した物で、このテーブルの場合、 $c=0$  の時、 $h=0$ 、 $c=10$  の時、 $h=5$ 、 $c=20$  の時、 $h=20$  という意味である。実際には c の値は連

続的に変化するため、このテーブルはテーブル内の各ポイントを結んだグラフで表される。ある c の値における h の値 ( $h(c)$ ) は c-h テーブル内の c に一番近い小さい値 ( $c1, h1$ ) と大きい値 ( $c2, h2$ ) の 2 ポイントを用いて、式 13

【数 13】

$$h(c) = \frac{h2-h1}{c2-c1} (c-c1) + h1$$

で表される。

【0185】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態 1 と同様である。(図 1)

図 67 に本実施形態における電流波形算出処理部 7 の詳細なブロック図を示す。ここで、瞬間電流算出処理部 11 は、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様に、論理シミュレータ 4 からの各セルのイベント情報 5 から各セルの瞬間的な電流変化を算出し、瞬間電流算出結果 12 を得るようにしたものである。

【0186】図 3 に瞬間電流算出結果 12 の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が  $\delta$  関数になるため、FFT により EMI 成分を解析することができない。ここまでは実施形態 1 の電流波形算出処理と同じである。150 は c-h テーブルライブラリであり、上記で説明した各セル毎の出力負荷容量と矩形波の高さの関係をキャラクタライズした c-h テーブル (図 66) で構成されている。61 は各インスタンス毎の出力負荷容量を記述した容量データである。151 は容量データ 61 から処理対象インスタンスの出力負荷容量を抽出し、c-h テーブルライブラリ 150 とその出力負荷容量からモデル化する矩形波の波高値を算出する第 8 の矩形波高算出処理部である。152 は矩形波の面積が瞬間電流値になるように第 8 の矩形波高算出処理部 151 から算出された矩形波の波高値と瞬間電流値を用いて矩形波の矩形波幅を算出する第 8 の矩形波幅算出処理部である。153 は瞬間電流算出結果 12 を高さが第 8 の矩形波高算出処理部 151 から算出された矩形波の波高値であり、幅が第 8 の矩形波幅算出処理部 152 から算出された矩形波幅である矩形波にモデル化する第 8 の矩形波整形処理部である。

【0187】図 68 に矩形波高算出処理及び矩形波幅算出処理を含めた第 8 の矩形波整形処理フローを示す。まず c-h テーブルライブラリ 150 を読み込む (1150)。次に容量データ 61 を読み込む (1151)。

【0188】次からの処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す (1152)。まず、c-h テーブルライブラリ 150 の処理対象のセルの種類 c-h テーブルから c に一番近い小さい値と大きい値の 2 点 ( $c1, h1$ )、( $c2, h2$ ) を抽出する。c



は処理対象インスタンスの61容量データから抽出した出力負荷容量である。

【0189】図66のテーブルでは $c=12$ の場合、 $(c1, h1) = (1, 5)$ 、 $(c2, h2) = (20, 20)$ がその値である(1153)。次に前述の式12により矩形波の高さ $h$ を算出する(1154)。図66のテーブルでは $c=12$ の場合、 $h(12)=8$ となる。これらの処理(1153)(1154)が第8の矩形波高算出処理部151に相当する。次に矩形波の面積は $w \times h$ であるので、 $w=i/h$ の関係から矩形波の時間幅 $w$ を算出する(1155)。 $i$ は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値であり、 $h$ は第8の矩形波高算出処理部151によって算出した矩形波の高さである。

【0190】この処理が第8の矩形波幅算出処理部152に相当する。次に変数 $x$ が $-W/2$ から $W/2$ に変化するまで $I(t+x)$ に $h$ を加算し、 $x$ に $\Delta t$ 加える(1156)(1157)。 $I(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値である。この処理が第8の矩形波整形処理部153に相当する。

【0191】上記、矩形波高算出処理、矩形波幅算出処理と矩形波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。この電流波形算出結果8をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0192】(実施形態17)次に第17の実施形態(請求項18)の不要輻射解析方法の実施例について説明する。本実施例は、不要輻射解析のうち、特に回路素子が複数の論理素子の組み合わせで構成される複合セルである場合の特性抽出および電流量計算を行う場合を示している。複合セルにおいては、電流は前記回路素子を構成する各論理素子が活性化することに流れる。この活性化は、それぞれの回路素子内の論理素子の持つ遅延をもって生ずる。

【0193】すなわち、回路素子の入力変化が起こってから、回路素子内で複数回電流が流れる。例えば図108のような組み合わせ回路素子では、端子A、Bの変化からセル内ゲートP1の遅延(1nsであるものとする)をもって1N1が変化し、さらにセル内ゲートP2の遅延(1nsであるものとする)をもってYが変化するため、図69の信号変化パターンを与えると図70に示すような電流波形が発生する。

【0194】しかしながら、従来のゲートレベルの解析技術では各回路素子の出力ピンにおける遅延を持ってその回路素子の総電流量を消費するものとして扱っていた。例えば、図108の回路素子を用いた図73の回路に対して図69の信号変化パターンを与えると、図71のような電流情報が出力される。それに対し、本実施例では、対象となる複合セルの入力ピンが信号変化した際

に生じる複数回の電流をその電流のピーク値と入力信号変化を基準とした遅延値でライブラリ化し、論理シミュレータにおける複合セルの入力ピンの信号変化に応じて前記遅延値の遅れを持って各電流のピーク値があるものと想定して電流を推定することを特徴としている。

【0195】図72に実施形態14(請求項15)のピーク電流値と電流量を用いる手法を用いた実施形態14(請求項18)の不要輻射解析方法の実施例についてその構成を示す。

【0196】同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、回路接続情報記憶手段9001と、信号変化パターン記憶手段9002と、素子電流量記憶手段9003と、総電流量記憶手段9004と、総電流量算出手段9005とからなる電流量解析手段を備えている。

【0197】次に、これらの図72の不要輻射解析方法を構成する個々の要素について説明するとともに、図73に示す回路接続情報と、図69に示す信号変化パターンと、図75に示す素子電流量とを用いて図74に示す総電流量を算出する手順を説明する。

【0198】回路接続情報記憶手段9001は、従来例と同様に対象となる回路の接続情報である回路接続情報を記憶するものであり、あらかじめ図73に示すような回路接続情報を記憶している。信号変化パターン記憶手段9002は、従来例の信号変化パターンと同様に対象回路接続情報に印加する信号変化パターンを記憶するものであり、あらかじめ図69に示すような図73の入力ポートA、B、Cに入力される信号変化パターンを記憶している。素子電流量記憶手段9003は、図75で示すような形式で各素子ごとに各素子の外部入力端子が変化した後素子内で発生する電流に関する変化ピン9301と時間間隔(外部端子が変化してから電流の発生するまでの時間)9302と電流の総量9303とピーク値9304の情報を有する。9305は、図108で示すANDORの回路素子について、入力Aが変化してから1ns後にピークを0.5mAとする総量1mAの電流が流れ、入力Aが変化してから2ns後にピークを1.5mAとする総量3mAの電流が流れることを示している。9306は、図108で示す回路素子について、入力Bが変化してから1ns後にピークを0.5mAとする総量1mAの電流が流れ、入力Bが変化してから2ns後にピークを1.5mAとする総量3mAの電流が流れることを示している。9307は、図108で示す回路素子について、入力Cが変化してから2ns後にピークを1.5mAとする総量3mAの電流が流れることを示している。

【0199】総電流量算出手段9005は、図76に示すようなフローチャートを有する。図76に示す電流計算方法のフローチャートでは、従来方法の電流計算方法のステップ1504に対して、入力の変化に伴って素子電流量記憶手段に記憶された素子電流量情報の時間間隔

を持って電流の総量とピーク値から電流の波形を矩形波形を想定して計算する処理（ステップ9404）に変更となる。ステップ9401で回路接続情報記憶手段9001に記憶された図73の回路接続情報を読み込む。ステップ9402で信号変化パターン記憶手段9002に記憶された図69の信号変化パターンを読み込む。ステップ9403で素子電流量情報記憶手段9003に記憶された図75の素子電流量情報を読み込む。

【0200】次にステップ9404で図69の信号変化パターンを図73の回路接続情報に与え、信号伝播を行 10 うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部入力端子が信号変化を起こした際に、端子に対応する電流量をピーク値で平均化（矩形化）した電流波形を外部入力端子の変化から時間間隔分だけ遅らせた時刻の総電流量情報に加算する。信号伝播完了後、ステップ9405で、算出された図74に示す各時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段9004に記憶する。これにより、図71に示す従来方式の電流に対して、図74に示すような実際に近い電流波形が得られる。

【0201】（実施形態18）次に本発明の第18の実 20 施形態（請求項19）の不要輻射解析方法の実施例について説明する。本実施例は、不要輻射解析のうち、特に回路素子がクロックに同期したレジスタ（信号保持）素子である場合の特性抽出および電流量計算を行う場合を示している。フリップフロップ等のレジスタ素子においては、電流はクロックピンの信号変化の立ち上がりあるいは立ち下がりごとに生じる。例えば、図77の回路に対して図78の信号変化パターンを与えると、図79のような電流が流れる。前述の実施例同様、前記回路素子を構成する各論理素子が活性化するとともに流れるが、従 30 来のゲートレベル消費電力解析ツールでは、これをフリップフロップのデータ取り込み時、例えばクロックピンの立ち上がり時のみで表していた。例えば、図77の回路に対して図78の信号変化パターンを与えると、図80のような電流情報が出力される。

【0202】本実施例では、フリップフロップの場合電流の流れるタイミングは主としてフリップフロップのクロックピンの立ち上がりとし立ち下がり基準として発生することに着目して、クロックピンの立ち上がりおよび立ち下がり基準として電流を見積もる。図72に実施 40 形態14（請求項15）のピーク電流値と電流量を用いる手法を用いた請求項19の不要輻射解析方法の実施例についてその構成を示す。同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、回路接続情報記憶手段9001と、信号変化パターン記憶手段9002と、素子電流量記憶手段9003と、総電流量記憶手段9004と、総電流量算出手段9005とからなる電流量解析手段を備えている。

【0203】次に、これらの図72の不要輻射解析方法を構成する個々の要素について説明するとともに、図7 50

7に示す回路接続情報と、図78に示す信号変化パターンと、図81に示す素子電流量とを用いて図82に示す総電流量を算出する手順を説明する。

【0204】回路接続情報記憶手段9001は、従来例と同様に対象となる回路の接続情報である回路接続情報を記憶するものであり、あらかじめ図77に示すような回路接続情報を記憶している。

【0205】信号変化パターン記憶手段9002は、従来例の信号変化パターンと同様に対象回路接続情報に印加する信号変化パターンを記憶するものであり、あらかじめ図78に示すような図77の入力ポートCK、Dに 入力される信号変化パターンを記憶している。

【0206】素子電流量記憶手段9003は、図81に示ような形式で各素子ごとにクロックの立ち上がりおよび立ち下がりそれぞれにおける回路素子の電流の総量9901とピーク値9902を有する。

【0207】総電流量算出手段9005は、図83に示すようなフローチャートを有する。図83に示す電流計算方法のフローチャートでは、従来方法の電流計算方法のステップ1504に対して、クロックの立ち上がりおよび立ち下がりそれぞれについて電流の総量とピーク値から電流の波形を矩形波形で計算する処理（ステップ10104）に変更となる。

【0208】ステップ10101で回路接続情報記憶手段9001に記憶された図77の回路接続情報を読み込む。ステップ10102で信号変化パターン記憶手段9002に記憶された図78の信号変化パターンを読み込む。

【0209】ステップ10103で素子電流量情報記憶手段9003に記憶された図114の素子電流量情報を読み込む。次にステップ10104で図78の信号変化パターンを図77の回路接続情報に与え、信号伝播を行うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部入力端子が信号変化を起こした際に、立ち上がり、立ち下がりそれぞれについて、端子に対応する電流量をピーク値で平均化（矩形化）した電流波形を端子が変化した時刻の総電流量情報に加算する。

【0210】信号伝播完了後、ステップ10105で、算出された図82に示す各時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段9004に記憶する。これにより、図80に示す従来方式の電流に対して、図82に示すような実際に近い電流波形が得られる。

【0211】（実施形態19）次に本発明の第19の実施形態（請求項20）の不要輻射解析方法の実施例について説明する。従来のゲートレベル消費電力解析手段では、論理素子の入力信号値に応じて電流総量を変化させる、いわゆる状態依存の消費電力計算を行うことは出来たが、電流の時間的变化やピーク値を含めた状態依存までは扱うことは出来なかった。

【0212】また、ある信号変化が発生した時の別の信

号の定常値を見るものはあったが、別の信号の信号変化まで見るものはなかった。例えば、図 8 4 に示す回路接続情報と、図 8 5 に示す信号変化パターンとにより図 8 6 で示す電流（A、B 端子が同時変化の場合と A 端子のみ変化の場合に電流量が異なる）が流れるが、このような場合に従来は図 8 7 のような波形しか出すことが出来なかった。

【0213】それに対して、本実施例は、電流の時間的な変化やピーク値を 2 つ以上の信号変化を考慮した状態依存で持つことを特徴とする。図 7 2 に実施形態 1 4（請求項 1 5）のピーク電流値と電流量を用いる手法を用いた請求項 2 0 の不要輻射解析方法の実施例についてその構成を示す。

【0214】同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、回路接続情報記憶手段 9 0 0 1 と、信号変化パターン記憶手段 9 0 0 2 と、素子電流量記憶手段 9 0 0 3 と、総電流量記憶手段 9 0 0 4 と、総電流量算出手段 9 0 0 5 とからなる電流量解析手段を備えている。

【0215】次に、これらの図 7 2 の不要輻射解析方法を構成する個々の要素について説明するとともに、図 8 4 に示す回路接続情報と、図 8 5 に示す信号変化パターンと、図 8 8 に示す素子電流量とを用いて図 9 0 に示す総電流量を算出する手順を説明する。

【0216】回路接続情報記憶手段 9 0 0 1 は、従来例と同様に対象となる回路の接続情報である回路接続情報を記憶するものであり、あらかじめ図 8 4 に示すような回路接続情報を記憶している。

【0217】信号変化パターン記憶手段 9 0 0 2 は、従来例の信号変化パターンと同様に対象回路接続情報に印加する信号変化パターンを記憶するものであり、あらかじめ図 8 5 に示すような図 8 4 の入力ポート A、B に入力される信号変化パターンを記憶している。

【0218】素子電流量記憶手段 9 0 0 3 は、図 8 8 で示すような形式で各素子ごとに各素子の外部端子が変化した時に素子内で発生する電流に関する変化ピンと、その変化に影響を及ぼした他の外部ピンの論理変化状態と、電流の総量と、ピーク値の情報を有する。

【0219】例えば、1 0 6 0 1 は、図 8 4 で示す NAND の回路素子について、出力 Y が変化した時に入力 A が論理値 1 であり、入力 B が論理値 0 から 1 に変化する場合ピークを 1 mA とする総量 3 mA の電流が流れることを示している。

【0220】総電流量算出手段 9 0 0 5 は、図 8 9 に示すようなフローチャートを用いる。図 8 9 に示す電流計算方法のフローチャートでは、従来方法の電流計算方法のステップ 1 5 0 4 に対して、信号変化が発生した時、その変化に影響した他の端子の状態を判断して信号変化が発生した時刻に電流の総量とピーク値から電流の波形を矩形波形を想定して計算する処理（ステップ 1 0 7 0 4）に変更となる。

【0221】ステップ 1 0 7 0 1 で回路接続情報記憶手段 9 0 0 1 に記憶された図 8 4 の回路接続情報を読み込む。ステップ 1 0 7 0 2 で信号変化パターン記憶手段 9 0 0 2 に記憶された図 8 5 の信号変化パターンを読み込む。ステップ 1 0 7 0 3 で素子電流量情報記憶手段 9 0 0 3 に記憶された図 8 8 の素子電流量情報を読み込む。

【0222】次にステップ 1 0 7 0 4 で図 8 5 の信号変化パターンを図 8 4 の回路接続情報に与え、信号伝播を行うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部端子が信号変化を起こした際に、他の端子の状態に応じて端子に対応する電流量をピーク値で平均化（矩形化）した電流波形を信号時刻の総電流量情報に加算する。

【0223】信号伝播完了後、ステップ 1 0 7 0 5 で、算出された図 9 0 に示す各時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段 9 0 0 4 に記憶する。これにより、図 8 に示す従来方式の電流に対して、図 d に示すような実際に近い電流波形が得られる。

【0224】（実施形態 2 0）図 9 1 は本発明の第 2 0 の実施の形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第 7 の実施の形態において図 2 8 を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、ステップ G 2 を追加し、データ A 1 0 をデータ G 3 に、またステップ A 1 1 をステップ G 4 に変更した構成となっている。第 1 の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。

【0225】G 2 は各々セル固有の各種情報を作り込むセルキャラクタライズ部である。G 3 は電流量と電源電圧降下量の関係を示した各セル毎の I-V テーブルファイル（もしくは I-V 関数）である。G 4 は電源電圧降下量を算出し、ステップ 1 1 から算出された瞬間電流の補正を行う電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部である。

【0226】以下、ステップ G 2 について説明する。ステップ G 2 ではライブラリ 3 が入力され、各々セル単体において電源電圧を変動させた時の電流量を予め算出することにより、各セル毎の I-V テーブルファイル（もしくは I-V 関数）G 3 が生成される。

【0227】図 9 2 は本発明の第 2 0 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部 G 4 の処理フローを示したブロック図であり、本図を参照しながらステップ G 4 の機能を説明する。

【0228】尚、第 7 の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。また、データ 1 2 は第 1 の実施の形態で詳細を説明しているため、同一符号を付して説明を省略する。ステップ G 4 は、第 7 の実施の形態におけるステップ A 1 1 に対し、電流値補正処理部 B 1 2 を H 1 に変更した構成となっている。

【0229】以下、ステップ H 1 について説明する。ス

ステップ H1 では第 7 の実施の形態におけるステップ B10 より生成されたインスタンス毎の電圧降下値情報 B11 と前記ステップ G2 より生成された電流量と電源電圧降下量の関係を示した各セル毎の I-V テーブルファイル (もしくは I-V 関数) G3 が入力され、前記ステップ 11 より生成された瞬間電流算出結果 12 に基づいたインスタンス毎の瞬間電流情報 B1 に対して、各セル毎の異なるテーブルファイルに基づいた補正処理が施されることにより、各インスタンス毎に電源配線抵抗成分に依存する電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果 A6 が生成される。

【0230】以上のように、本発明の第 20 の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、各セル毎に予め電流量と電源電圧降下量の関係をキャラクタライズし適用することにより、本発明の第 7 の実施の形態における I-V テーブルファイル (もしくは I-V 関数) A10 を使用した全セル一律の電流量と電源電圧降下量の関係で解析を行うのに対して、セル (レイアウト) 構成依存性を反映させることが出来るため、より正確な電流波形のモデリングが実現でき、電流波形を FFT 処理することで得られる解析対象回路の周波数特性において、不要な高調波成分の低減が可能となる。また、本実施の形態 20 では第 1 の実施の形態において説明したが、第 14~19 の実施の形態のそれぞれにおいても同様の効果が得られる。

【0231】(実施形態 21) 図 93 は本発明の第 21 の実施の形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第 8 の実施の形態において図 36 を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、ステップ I1 を追加し、データ C1 を削除し、データ A10 をデータ I2 に、またステップ C2 をステップ I3 に変更した構成となっている。

【0232】第 1 の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。I1 は各々セル固有の各種情報を作り込むセルキャラクタライズ部である。I2 は電流量と電源電圧降下量及び近接電源・グラウンド間デカップリング容量の関係を示した各セル毎の I、C-V テーブルファイル (もしくは I、C-V 関数) である。I3 は電源電圧降下量を算出し、ステップ 11 より生成された瞬間電流算出結果 12 の補正を行う電源電圧降下算出/瞬間電流補正処理部である。

【0233】以下、ステップ I1 について説明する。ステップ I1 ではライブラリ 3 が入力され、各々セル単体において電源電圧を変動させることに加えて、電源・グラウンド間デカップリング容量も考慮に入れて同様に変動させた時の電流量を予め算出することにより、各セル毎の I、C-V テーブルファイル (もしくは I、C-V 関数) I2 が生成される。

【0234】図 94 は本発明の第 21 の実施の形態にお

ける電源電圧降下算出/瞬間電流補正処理部 I3 の処理フローを示したブロック図であり、本図を参照しながらステップ I3 の機能を説明する。尚、第 8 の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。また、データ 12 は第 1 の実施の形態で詳細を説明しているため、同一符号を付して説明を省略する。

【0235】ステップ I3 は、第 8 の実施の形態におけるステップ C2 に対し、電流値補正処理部 B12 を J1 に変更した構成となっている。

【0236】以下、ステップ J1 について説明する。ステップ J1 では第 8 の実施の形態におけるステップ B10 より生成されたインスタンス毎の電圧降下値情報 B11 と前記ステップ I1 より生成された電流量と電源電圧降下量及び近接電源・グラウンド間デカップリング容量の関係を示した各セル毎の I、C-V テーブルファイル (もしくは I、C-V 関数) I2 と第 8 の実施の形態におけるステップ D1 より生成された電源・グラウンド配線における各セグメント間の容量値情報 D2 が入力され、前記ステップ 11 より生成された瞬間電流算出結果 12 に基づいたインスタンス毎の瞬間電流情報 B1 に対して、各セル毎の異なるテーブルファイルに基づいた補正処理が施されることにより、各インスタンス毎に電源配線抵抗成分に加えてデカップリング容量成分に依存する電源電圧変動を考慮した瞬間電流算出結果 A6 が生成される。

【0237】以上のように、本発明の第 21 の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、各セル毎に予め電流量と電源電圧降下量及び電源・グラウンド間デカップリング容量の関係をキャラクタライズし適用することにより、本発明の第 8 の実施の形態における I-V テーブルファイル (もしくは I-V 関数) A10 及び C-V テーブルファイル (もしくは C-V 関数) C1 を使用した全セル一律の電流量と電源電圧降下量及び電源・グラウンド間デカップリング容量の関係で解析を行うのに対して、セル (レイアウト) 構成依存性を反映させることが出来るため、より一層正確な電流波形のモデリングが実現でき、電流波形を FFT 処理することで得られる解析対象回路の周波数特性において、不要な高調波成分の低減がさらに可能となる。

【0238】また、本実施の形態 21 では第 1 の実施の形態において説明したが、第 14~19 の実施の形態のそれぞれにおいても同様の効果が得られる。

【0239】(実施形態 22) 図 95 は本発明の第 22 の実施の形態に係る不要輻射解析手法の全体フローを示したブロック図であり、第 7 の実施の形態において図 28 を用いて説明した不要輻射解析手法に対し、判定ステップ K1 を追加した構成となっている。第 1 の実施の形態で説明した不要輻射解析手法と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。K1 は電源電圧降下

算出／瞬間電流補正処理部 A 1 1 より生成される電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果 A 6 を次ステップの入力とするかの比較判定処理部である。以下、ステップ K 1 について説明する。本発明の第 2 2 の実施の形態の特徴は、電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部 A 1 1 より生成される電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果 A 6 を再度、前記ステップ A 1 1 の入力にし、再度新たに電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果 A 6 が生成されることを繰り返し処理することにある。

【0240】ステップ K 1 では、その繰り返し処理回数 10 が予め設定した回数に達したかの比較判定を行い、その比較判定結果が真になれば繰り返し処理を終了し、次のステップである F F T 処理部 9 を実施する。

【0241】以上のように、本発明の第 2 2 の実施の形態の不要輻射解析方法によれば、電源電圧変動の影響を考慮して補正・算出した瞬間電流結果を、更にフィードバックして電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理を繰り返すことにより、電源電圧降下による電流量変化を安定させることが出来るため、より正確な電流波形のモデリングが実現でき、電流波形を F F T 処理することで得られる解析対象回路の周波数特性において、不要な高調波成分の低減が可能となる。

【0242】尚、前記ステップ K 1 では予め設定する回数により繰り返し処理を制御したが、前記ステップ A 1 1 より生成された電源電圧降下を考慮した瞬間電流算出結果 A 6 を一旦記憶しておく記憶装置を設け、前記ステップ A 1 1 にその記憶装置に格納された瞬間電流算出結果 A 6 を再入力して、新たに生成された瞬間電流算出結果 A 6 と元々記憶装置に格納されている瞬間電流算出結果 A 6 との比較判定を行い、予め設定した許容誤差範囲内に収まるまで繰り返し処理を行う制御方法で代用することも可能である。

【0243】また、本実施の形態 2 2 では第 7 の実施の形態において説明したが、第 8、9、20、21 の実施の形態のそれぞれについても同様の効果が得られる。

【0244】（実施形態 2 3）次に本発明の第 2 3 の実施形態について説明する。実施形態 1 4 ~ 2 2 では各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を波高値をそのセルのピーク電流値とした矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、この方法では、その瞬間的な電流波形を三角波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができる。

【0245】以下にその例として、瞬間的な変化電流を高さをキャラクタライズしたピーク電流値とし、時間幅を瞬間電流値が面積となるように算出した三角波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出

し、その電流波形算出結果を F F T することにより、対 50

象回路の E M I 成分の周波数特性を得、E M I 解析する方法を説明する。

【0246】図 9 6 に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した三角波を示す。i は瞬間電流値であり、t は現在処理時刻である。h はモデル化する三角波の高さであり、各セル毎に三角波の高さをキャラクタライズしたライブラリを用いて抽出する。w は三角波の時間幅であり、i と先に抽出した h を用いて算出する。時刻  $t + x$  における電流値は前述の式 5 で表される。また時刻  $t - x$  における電流値も式 5 で表される。

【0247】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態 1 と同様である。（図 1）

図 9 7 に本実施形態における電流波形算出処理部 7 の詳細なブロック図を示す。1 1 は論理シミュレータ 4 からの各セルのイベント情報 5 から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。1 2 は瞬間電流算出処理部 1 1 から算出した瞬間電流算出結果である。図 3 に瞬間電流算出結果 1 2 の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が  $\delta$  関数になるため、F F T により E M I 成分を解析することができない。ここまでは実施形態 1 の電流波形算出処理と同じである。1 3 0 はピーク電流ライブラリであり、各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値をキャラクタライズした値が含まれている。1 6 0 はピーク電流ライブラリ 1 3 0 からモデル化する三角波の波高値を抽出する三角波高算出処理部である。1 6 1 は三角波の面積が瞬間電流値になるように、三角波高算出処理部 1 6 0 から抽出された三角波の波高値と瞬間電流値を用いて三角波の波幅を算出する三角波幅算出処理部である。1 6 2 は瞬間電流算出結果 1 2 を高さが三角波高算出処理部 1 6 0 から抽出された三角波の波高値であり、幅が三角波幅算出処理部 1 6 1 から算出された波幅である三角波にモデル化する三角波整形処理部である。

【0248】図 9 8 に三角波高算出処理、三角波幅算出処理を含めた三角波整形処理フローを示す。まずピーク電流ライブラリ 1 3 0 を読み込む（1 1 6 0）以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す（1 1 6 1）。まず、ピーク電流ライブラリ 1 3 0 から処理対象インスタンスのピーク電流値を抽出し、それを三角波の波高 h とする（1 1 6 2）。この処理が三角波高算出処理 1 6 0 に相当する。次に三角波の面積は w を三角波の幅とすると  $w \times h / 2$  であり、処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値と等しい。そこで  $2 \times i / h$  により三角波の幅 w を算出する（1 1 6 3）。i は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。この処理が三角波幅算出処理部 1 6 1 に相当する。次に変数 x が 0 から w / 2 まで  $I(t + x)$  と  $I(t - x)$  に式 5 を加算し、x に  $\Delta t$  加える（1 1 6 4）（1 1 6 5）。 $I(t + x)$  は時刻  $t + x$  における全てのセ

ルの電流値であり、 $I(t-x)$  は時刻  $t-x$  における全てのセルの電流値である。この処理が三角波整形処理部 162 に相当する。

【0249】上記、三角波高算出処理と三角波幅算出処理と三角波整形処理フローにより電流波形算出結果 8 を得ることができる。この電流波形算出結果 8 を FFT 処理部 9 が FFT 処理することにより EMI 成分の周波数特性を得ることができ、EMI 解析結果 10 を得る事ができる。

【0250】（実施形態 24）次に本発明の第 24 の実施形態について説明する。実施形態 14～22 では各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を波高値をそのセルのピーク電流値とした矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、この方法では、その瞬間的な電流波形を複数関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができる。以下にその例として、瞬間的な変化電流を高さをキャラクタライズしたピーク電流値とし、時間幅を瞬間電流値が面積となるように算出した複数関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果を FFT することにより、対象回路の EMI 成分の周波数特性を得、EMI 解析する方法を説明する。

【0251】図 99 に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した複数関数を示す。 $i$  は瞬間電流値であり、 $t$  は現在処理時刻である。 $h$  はモデル化する複数関数の高さであり、各セル毎に複数関数の高さをキャラクタライズしたライブラリを用いて抽出する。 $w$  は複数関数の時間幅に関する値であり、 $i$  と先に抽出した  $h$  を用いて算出する。複数関数の時間幅を  $2 \times w$  とすると時刻  $t+x$  における電流値は前述の式 6 で表される。この複数関数の面積は前述の式 8 で表される。この値は  $i$  と等しいため、 $a$  は前述の式 9 で表される。複数関数の高さ  $h$  は前述の式 6 において  $x=0$  のときであるので、前述の式 7 で表される。式 7、9 の関係から  $w$  は式 14

【数 14】

$$w = \frac{15 \times i}{16 \times h}$$

で表される。

【0252】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態 1 と同様である。（図 1）

図 100 に本実施形態における電流波形算出処理部 7 の詳細なブロック図を示す。11 は論理シミュレータ 4 からの各セルのイベント情報 5 から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理

シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12 は瞬間電流算出処理部 11 から算出した瞬間電流算出結果である。図 3 に瞬間電流算出結果 12 の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が  $\delta$  関数になるため、FFT により EMI 成分を解析することができない。ここまでは実施形態 1 の電流波形算出処理と同じである。

【0253】130 はピーク電流ライブラリであり、各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値をキャラクタライズした値が含まれている。170 はピーク電流ライブラリ 130 からモデル化する複数関数の波高値を抽出する複数関数波高算出処理部である。171 は複数関数の面積が瞬間電流値になるように、複数関数波高算出処理部 170 から抽出された複数関数の波高値と瞬間電流値を用いて複数関数の波幅を算出する複数関数波幅算出処理部である。172 は瞬間電流算出結果 12 を高さが複数関数波高算出処理部 170 から抽出された複数関数の波高値であり、幅が複数関数波幅算出処理部 171 から算出された波幅である複数関数にモデル化する複数関数波整形処理部である。

【0254】図 101 に複数関数波高算出処理、複数関数波幅算出処理を含めた複数関数波整形処理フローを示す。まずピーク電流ライブラリ 130 を読み込む（1170）。以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す（1171）。まず、ピーク電流ライブラリ 130 から処理対象インスタンスのピーク電流値を抽出し、それを複数関数の波高  $h$  とする（1172）。この処理が複数関数波高算出処理 170 に相当する。次に前述の式 14 により  $w$  を算出する（1173）。 $i$  は処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。この処理が複数関数波幅算出処理部 171 に相当する。次に変数  $x$  が  $-w$  から  $w$  まで  $I(t+x)$  に前述の式 6 を加算し、 $x$  に  $\Delta t$  加える（1174）（1175）。 $I(t+x)$  は時刻  $t+x$  における全てのセルの電流値である。この処理が複数関数波整形処理部 172 に相当する。

【0255】上記、複数関数波高算出処理と複数関数波幅算出処理と複数関数波整形処理フローにより電流波形算出結果 8 を得ることができる。この電流波形算出結果 8 を FFT 処理部 9 が FFT 処理することにより EMI 成分の周波数特性を得ることができ、EMI 解析結果 10 を得る事ができる。

【0256】（実施形態 25）次に本発明の第 25 の実施形態について説明する。実施形態 14～22 では各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値とイベント毎の瞬間的な変化電流量をキャラクタライズすることにより、論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な変化電流を波高値をそのセルのピーク電流値とした矩形波にモデル化することにより、電流変化を得たが、この方法



では、その瞬間的な電流波形を複素関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができる。

【0257】以下にその例として、瞬間的な変化電流を各セルの種類毎に高さや時間幅をキャラクタライズした複数次関数にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0258】図50に本実施の形態における瞬間電流値とモデル化した複素関数を示す。iは瞬間電流値であり、tは現在処理時刻である。hはモデル化する関数の高さであり、各セルの種類毎にキャラクタライズされたピーク電流値と同じである。wはモデル化する関数の時間幅であり、各セルの種類毎にキャラクタライズされた値である。今回の例ではモデル化する複素関数の式を前述の式11とする。この関数はガウス関数と呼ばれている。この式において $x=0$ のとき、この式の値はhとなるため、hはガウス関数の高さを表している。この式において $x=3 \times w$ の時、この式の値は $0.0001 \times h$ となり、高さの0.01%となる。そこでこの値をモデル化する関数の時間幅の限界とし、関数の時間幅を $6 \times w$ とした。

【0259】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図102に本実施形態における電流波形算出処理部7の詳細なブロック図を示す。11は論理シミュレータ4からの各セルのイベント情報5から各セルの瞬間的な電流変化を算出する瞬間電流算出処理部であり、従来の論理シミュレーションにおける消費電力算出の技術と同様である。12は瞬間電流算出処理部11から算出した瞬間電流算出結果である。図3に瞬間電流算出結果12の例を示す。この図のように瞬間電流算出結果では電流波形が $\delta$ 関数になるため、FFTによりEMI成分を解析することができない。ここまでは実施形態1の電流波形算出処理と同じである。そして、ガウス関数波高算出処理部180で、各セルの種類毎にそのセルのピーク電流値をキャラクタライズした値を含んだピーク電流ライブラリ130からモデル化するガウス関数の波高値が抽出される。181は波幅ライブラリであり、各セルの種類毎にそのセルの波幅をキャラクタライズした値が含まれている。182は波幅ライブラリ181からモデル化するガウス関数の波幅値を抽出するガウス関数波幅算出処理部である。

【0260】183は瞬間電流算出結果12を高さがガウス関数波高算出処理部180から抽出されたガウス関数の波高値であり、幅がガウス関数波幅算出処理部182から算出された波幅であるガウス関数にモデル化するガウス関数波整形処理部である。

【0261】図103にガウス関数波高算出処理、ガウ

ス関数波幅算出処理を含めたガウス関数波整形処理フローを示す。まずピーク電流ライブラリ130を読み込む(1180)。次に波幅ライブラリ181を読み込む(1181)。

【0262】以下の処理は電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す(1182)。まず、ピーク電流ライブラリ130から処理対象インスタンスのピーク電流値を抽出し、それをガウス関数の波高hとする(1183)。この処理がガウス関数波高算出処理180に相当する。次に波幅ライブラリ181から処理対象インスタンスの波幅値を抽出し、それをガウス関数の波幅wとする(1184)。この処理がガウス関数波幅算出処理182に相当する。次に変数xが $-3 \times w$ から $3 \times w$ まで $1(t+x)$ に前述の式11を加算し、xに $\Delta t$ 加える(1185)(1186)。 $1(t+x)$ は時刻 $t+x$ における全てのセルの電流値でありである。この処理がガウス関数波整形処理部183に相当する。

【0263】上記、複数次関数波高算出処理と複数次関数波幅算出処理と複数次関数波整形処理フローにより電流波形算出結果8を得ることができる。この電流波形算出結果8をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0264】(実施形態26)次に第26の実施形態の不要輻射解析方法について説明する。実施形態26は、実施形態14、15、16、17、18、19、20、21、22における個々の回路素子(セル)における電流波形情報を、貫通電流に依存する要素と、チャージ電流に依存する要素に分けてモデル化することを特徴とする。実施形態26の場合、実施形態13と異なり、個々の回路素子(セル)についてのモデル化を行うため、より正確な電流のモデル化が可能となる。

【0265】例えば、図110に示す回路接続情報と、図12に示す信号変化パターンとにより図104で示す電流が流れるが、このような場合に従来は図14のような波形しか出すことが出来なかった。また、実施形態13でも図58に示すような波形であった。本実施例ではこれに対してより正確に電流を表すことが出来る。図72に実施形態14のピーク電流値と電流量を用いる手法を用いた実施形態26の不要輻射解析方法の実施例についてその構成を示す。

【0266】同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、回路接続情報記憶手段9001と、信号変化パターン記憶手段9002と、素子電流量記憶手段9003と、総電流量記憶手段9004と、総電流量算出手段9005とからなる電流量解析手段を備えている。

【0267】次に、これらの図72の不要輻射解析方法を構成する個々の要素について説明するとともに、図110に示す回路接続情報と、図12に示す信号変化パターンと、図105に示す素子電流量とを用いて図106

に示す総電流量を算出する手順を説明する。

【0268】回路接続情報記憶手段9001は、従来例と同様に対象となる回路の接続情報である回路接続情報を記憶するものであり、あらかじめ図110に示すような回路接続情報を記憶している。

【0269】信号変化パターン記憶手段9002は、従来例の信号変化パターンと同様に対象回路接続情報に印加する信号変化パターンを記憶するものであり、あらかじめ図111に示すような図110の入力ポートCK、Dに入力される信号変化パターンを記憶している。

【0270】素子電流量記憶手段9003は、図105に示ような形式で各素子ごとに個々の回路素子（セル）の貫通電流の総量とピーク値、チャージ電流の総量とピーク値をそれぞれ有する。

【0271】総電流量算出手段9005は、図107に示すようなフローチャートを有する。図107に示す電流計算方法のフローチャートでは、従来方法のステップ1504に対して電流計算において計算された貫通電流とチャージ電流それぞれに対してピーク値と総量から定まる矩形電流波形を計算しそれらの電流波形をマージする処理（ステップ12504）に変更となる。ステップ12501で回路接続情報記憶手段9001に記憶された図110の回路接続情報を読み込む。

【0272】ステップ12502で信号変化パターン記憶手段9002に記憶された図111の信号変化パターンを読み込む。ステップ12503で素子電流情報記憶手段9003に記憶された図105の素子電流量情報を読み込む。次にステップ12504で図111の信号変化パターンを図110の回路接続情報に与え、信号伝播を行うとともに、素子電流量情報内に記載された回路素子の外部端子が信号変化を起こした際に、端子に対応する電流量の貫通電流成分とチャージ電流成分それぞれをそれぞれのピーク値で平均化（矩形化）した電流波形を端子が変化した時刻の総電流量情報に加算する。信号伝播完了後、ステップ12505で、算出された図106に示す各時刻における総電流量情報を総電流量記憶手段9004に記憶する。これにより、図14に示す従来方式の電流に対して、図106に示すような実際に近い電流波形が得られる。

【0273】（実施形態27）次に本発明の第27の実施形態について説明する。実施形態10では論理シミュレータからの各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、その瞬間的な電流波形を三角波にモデル化することにより、より現実に近い電流変化を得ることができることを説明したが、この実施形態27では、さらに出力スリユー情報すなわちセルの出力端子における信号の変化開始から終了までの時間を考慮して電流波形を算出するようにしたことを特徴とする。以下にその例として、瞬間的な変化電流を三角波の面積が各イベントの電流量になるように、各イベント情報毎にセ

ルの出力端子におけるスリユー情報を考慮して幅を算出するとともに、この幅に基づいて高さを算出することにより三角波状にモデル化し、現存のライブラリをそのまま使用してさらににより現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析する方法を説明する。

【0274】図117に本実施の形態における不要輻射解析方法を実行するための論理値（図117（a））とモデル化した三角波（図117（b））を示す。tは現在処理時刻である。Wはモデル化する三角波の時間幅であり、出力スリユー情報を考慮して各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、決定される幅である。hは三角波の高さであり、iとWから算出する。 $h = 2 \times I / W$  本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。（図1）図118に本実施形態における不要輻射解析方法を実行するための装置構成を示す。同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、信号変化パターン記憶手段1171と、素子電流量記憶手段1172と、出力スリユー情報記憶手段1173と、これら信号変化パターン記憶手段1171、素子電流量記憶手段1172、および出力スリユー情報記憶手段1173と、回路接続情報記憶手段1174にもとづいて、電流波形を算出する電流波形算出手段1175とから構成されており、電流波形算出結果1176を出力するようになっている。

【0275】図119に三角波の幅および高さ算出処理を含めた三角波整形処理フローを示す。以下の処理は、出力スリユーの読み込み（1190）後、電流波形算出処理が終了するまで各イベント毎に繰り返す（1191）。イベント変化点を中心とし、底辺を出力スリユーとして抽出し（1192）、その面積を電流量とする2等辺三角形をそのイベントによる電流波形とする。三角波の面積は $W \times h / 2$ であり、その値はiである。そこで $2 \times i / W$ により三角波の高さhを算出する（1193）。iは処理対象イベントのセルに関する瞬間電流値である。この処理が実施形態10における三角波高算出処理部100に相当する。次に変数xが0から $W / 2$ まで $I(t+x)$ と $I(t-x)$ に $(2 \times h / W) \cdot x + h$ を加算し、xに $\Delta t$ 加える（1194）（1195）（1196）。 $I(t+x)$ は時刻t+xにおける全てのセルの電流値であり、 $I(t-x)$ は時刻t-xにおける全てのセルの電流値である。この処理が三角波整形処理部101に相当する。

【0276】上記、三角波高算出処理と三角波整形処理フローにより電流波形算出結果1176を得ることができる。この波形をFFT処理部9がFFT処理することによりEMI成分の周波数特性を得ることができ、EMI解析結果10を得る事ができる。

【0277】この方法によれば、現在使用している消費



電力解析ツール・遅延検証で使用している情報のみにより、電流の推定を十分に精度よく行うことができる。

【0278】(実施形態28)次に本発明の第28の実施形態について説明する。この方法では実施形態27に加えて、各イベントが立ち上がりか立ち下がりかの条件を考慮して電流波形の算出を行うようにしたことを特徴とする。図120に本実施の形態における不要輻射解析方法を実行するための論理値(図120(a))とモデル化した三角波(図120(b))を示す。 $t$ は現在処理時刻である。 $W$ はモデル化する三角波の時間幅であり、出力スリュー情報を考慮して各セルのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、決定される幅である。すなわち、ライズ/フォール依存係数記憶手段1207を導入することにより、電流波形算出手段1205では、各イベントのライズ/フォールに応じて電流波形を算出する。

【0279】本実施形態の全体フローのブロック図は実施形態1と同様である。(図1)

図121に本実施形態における不要輻射解析方法を実行するための装置構成を示す。同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、信号変化パターン記憶手段1201と、素子電流量記憶手段1202と、出力スリュー情報記憶手段1203と、これら信号変化パターン記憶手段1201、素子電流量記憶手段1202、および出力スリュー情報記憶手段1203と、回路接続情報記憶手段1204にもとづいて、電流波形を算出する電流波形算出手段1205とから構成されており、電流波形算出結果1206を出力するようになっている。

【0280】この実施形態28では、実施形態27の方法に加えてさらにライズ/フォール依存係数記憶手段1207を参照して各イベントが立ち上がりか立ち下がりかを考慮して電流波形を算出するようにしたことを特徴とするもので、現存のライブラリをそのまま利用してさらににより現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析を行うことが可能となる。

【0281】(実施形態29)次に本発明の第29の実施形態について説明する。この方法では複合セルとして解析するもので、イベント情報と、セル内部のスパイスネットリストから決定されるセルの段数と、出力負荷容量と、入力スリュー情報と、入力スリューと電流量との関係と、入力変化時刻あるいは遅延時間とに基づいて、電流量を推定する。ここでは出力負荷容量と、入力スリューと電流量との関係を示すテーブルを用いて、1回のイベントで流れる電流量情報を計算する。図122に本実施の形態における不要輻射解析方法を実行するための論理値(図122(a))とモデル化した三角波(図122(b))を示す。 $t_d$ は遅延時間、 $t$ は現在処理時刻である。 $W$ はモデル化する三角波の時間幅であり、

多段による遅延時間 $t_d$ を考慮した出力スリュー情報に基づいて各セルとしてのイベント情報から各セルの瞬間的な変化電流を算出し、決定される幅である。ここではあらかじめ出力負荷に依存しない電流量(非依存電流量)を算出し、記憶しておき、出力の変化点を中心とし、底辺を出力スリューとし、出力負荷にこの非依存電流量すなわちを電流量-容量0のときの電流量を面積とする三角波と、この遅延時間内にセルの段数に分割された三角波とを用いるようにしたことを特徴とする。この方法では図123に示すように、実施形態27に加えて、負荷容量・スリュー依存素子電流量情報テーブル1226と、これにもとづいて素子電流量を算出する素子電流量算出手段1227と、この算出された無負荷素子電流量を記憶する無負荷素子電流量記憶手段1228とを付加し、電流波形の算出を行うようにしたことを特徴とする。同図に示す不要輻射解析方法に用いられる装置は、負荷容量・スリュー依存素子電流量情報テーブル1226と、これにもとづいて素子電流量を算出する素子電流量算出手段1227と、この算出された無負荷素子電流量を記憶する無負荷素子電流量記憶手段1228と、信号変化パターン記憶手段1221と、素子電流量算出手段1227によって算出されたイベント時の素子電流量を記憶する素子電流量記憶手段1222と、出力スリュー情報記憶手段1223と、これら信号変化パターン記憶手段1221、素子電流量記憶手段1222、および出力スリュー情報記憶手段1223と、回路接続情報記憶手段1224と、当該複合セルの接続段数を記憶する段数記憶手段1229と、前記無負荷素子電流量記憶手段1228の出力とにもとづいて、電流波形を算出する電流波形算出手段1225とから構成されており、電流波形算出結果1226を出力するようになっている。

【0282】この実施形態29では、イベント変化点から過去にさかのぼって入力変化時刻までの間に、総面積が容量0のときの電流量となるようにセルの段数分だけの複数の三角波が収まるようにしたことを特徴とするもので、現存のライブラリをそのまま利用してさらににより現実に近い電流変化を算出し、その電流波形算出結果をFFTすることにより、対象回路のEMI成分の周波数特性を得、EMI解析を行うことが可能となる。

#### 【0283】

【発明の効果】本発明は、不要輻射の主要因とも言える電源電流の変化を高精度に解析することで、シミュレーションにおけるLSIの不要輻射評価を実現している。

しかも、課題解決を実現する上において、ゲートレベルシミュレーションをベースに高精度電源電流解析機能を追加することで、トランジスタレベル電流解析を用いた従来手法で生じていた処理時間長大化を抑制している。

【図面の簡単な説明】

【図 1】全体ブロック図  
 【図 2】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 1）  
 【図 3】瞬間電流算出結果  
 【図 4】電流波形平均化処理フロー図  
 【図 5】電流波形算出結果（実施形態 1）  
 【図 6】FFT 解析結果  
 【図 7】矩形波モデル（実施形態 2）  
 【図 8】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 2）  
 【図 9】第 1 の矩形波整形処理フロー図  
 【図 10】電流波形算出結果（実施形態 2）  
 【図 11】矩形波モデル（実施形態 3）  
 【図 12】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 3）  
 【図 13】第 2 の矩形波整形処理フロー図  
 【図 14】電流波形算出結果（実施形態 3）  
 【図 15】矩形波モデル（実施形態 4、5、6）  
 【図 16】 $i-h$  テーブル  
 【図 17】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 4）  
 【図 18】第 3 の矩形波整形処理フロー図  
 【図 19】電流波形算出結果（実施形態 4）  
 【図 20】 $i-s-h$  テーブル  
 【図 21】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 5）  
 【図 22】第 4 の矩形波整形処理のフロー図  
 【図 23】電流波形算出結果（実施形態 5）  
 【図 24】 $i-c-h$  テーブル  
 【図 25】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 6）  
 【図 26】第 5 の矩形波整形処理のフロー図  
 【図 27】電流波形算出結果（実施形態 6）  
 【図 28】本発明の第 7 の実施の形態に係る不要輻射解析方法を説明するフロー図である。  
 【図 29】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部の処理の流れを説明するフロー図である。  
 【図 30】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部での入力データとなるレイアウトデータを示す模式図である。  
 【図 31】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される電源配線の各セグメント情報を示す模式図である。  
 【図 32】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される各セグメント毎の抵抗値情報を示す模式図である。  
 【図 33】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される各セグメント毎の電流値情報を示す模式図である。  
 【図 34】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される各セグメント毎の電圧降下値情報を示す模式図である。  
 【図 35】本発明の第 7 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成されるインスタンス毎の電圧降下値情報を示す模式図である。

【図 36】本発明の第 8 の実施の形態に係る不要輻射解析方法を説明するフロー図である。  
 【図 37】本発明の第 8 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部の処理の流れを説明するフロー図である。  
 【図 38】本発明の第 8 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される各セグメント間の容量値情報を示す模式図である。  
 【図 39】本発明の第 8 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部で生成される各セグメント毎の電圧降下値情報を示す模式図である。  
 【図 40】本発明の第 9 の実施の形態に係る不要輻射解析方法を説明するフロー図である。  
 【図 41】本発明の第 9 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部の処理の流れを説明するフロー図である。  
 【図 42】三角波モデル（実施形態 10）  
 【図 43】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 10）  
 【図 44】三角波整形処理フロー図  
 【図 45】電流波形算出結果（実施形態 10）  
 【図 46】複数次関数モデル（実施形態 11）  
 【図 47】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 11）  
 【図 48】複数次関数整形処理フロー図  
 【図 49】電流波形算出結果（実施形態 11）  
 【図 50】ガウス関数モデル（実施形態 12、25）  
 【図 51】 $i-h$  テーブル  
 【図 52】 $i-w$  テーブル  
 【図 53】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 12）  
 【図 54】ガウス関数波形整形処理フロー図  
 【図 55】電流波形算出結果（実施形態 12）  
 【図 56】実施形態 13 におけるゲートレベル電流解析方法を実現するための構成を示すブロック図  
 【図 57】実施形態 13 における電流推定基礎情報記憶手段のデータ例を示す図  
 【図 58】実施形態 13 における総電流量記憶手段のデータ例を示す図  
 【図 59】実施形態 13 における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図  
 【図 60】実施形態 13 における総電流量算出手段のフローチャート  
 【図 61】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 14）  
 【図 62】第 6 の矩形波整形処理フロー図  
 【図 63】 $s-h$  テーブル  
 【図 64】電流波形算出処理ブロック図（実施形態 15）  
 【図 65】第 7 の矩形波整形処理フロー図

【図 66】c-h テーブル

【図 67】電流波形算出処理ブロック図 (実施形態 16)

【図 68】第 8 の矩形波整形処理フロー図

【図 69】実施形態 17 における信号変化パターン記憶手段のデータ例を示す図

【図 70】実施形態 17 における実回路での電流波形の例を示す図

【図 71】実施形態 17 に対応する従来例の総電流量記憶手段のデータ例

【図 72】実施形態 17、実施形態 18 におけるゲートレベル電流解析方法を実現するための構成を示すブロック図

【図 73】実施形態 17 における回路接続情報記憶手段のデータ例を示す図

【図 74】実施形態 17 における総電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 75】実施形態 17 における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 76】実施形態 17 における総電流量算出手段のフローチャート

【図 77】実施形態 18 における回路接続情報記憶手段のデータ例を示す図

【図 78】実施形態 18 における信号変化パターン記憶手段のデータ例を示す図

【図 79】実施形態 18 における実回路での電流波形の例を示す図

【図 80】実施形態 18 に対応する従来例の総電流量記憶手段のデータ例

【図 81】実施形態 18 における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 82】実施形態 18 における総電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 83】実施形態 18 における総電流量算出手段のフローチャート

【図 84】実施形態 19 における回路接続情報記憶手段のデータ例を示す図

【図 85】実施形態 19 における信号変化パターン記憶手段のデータ例を示す図

【図 86】実施形態 19 における実回路での電流波形の例を示す図

【図 87】実施形態 19 に対応する従来例の総電流量記憶手段のデータ例

【図 88】実施形態 19 における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 89】実施形態 19 における総電流量算出手段のフローチャート

【図 90】実施形態 19 における総電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 91】本発明の第 20 の実施の形態に係る不要輻射

解析方法を説明するフロー図である。

【図 92】本発明の第 20 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部の処理の流れを説明するフロー図である。

【図 93】本発明の第 21 の実施の形態に係る不要輻射解析方法を説明するフロー図である。

【図 94】本発明の第 21 の実施の形態における電源電圧降下算出／瞬間電流補正処理部の処理の流れを説明するフロー図である。

10 【図 95】本発明の第 22 の実施の形態に係る不要輻射解析方法を説明するフロー図である。

【図 96】三角波モデル (実施形態 23)

【図 97】電流波形算出処理ブロック図 (実施形態 23)

【図 98】三角波整形処理フロー図

【図 99】複数次関数モデル (実施形態 24)

【図 100】電流波形算出処理ブロック図 (実施形態 24)

【図 101】複数次関数波整形処理フロー図

【図 102】電流波形算出処理ブロック図 (実施形態 25)

【図 103】ガウス関数波整形処理フロー図

【図 104】実施形態 26 における実回路での電流波形の例を示す図

【図 105】実施形態 26 における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 106】実施形態 26 に対応する従来例の総電流量記憶手段のデータ例

【図 107】実施形態 26 における総電流量算出手段のフローチャート

【図 108】図 73 に示す実施形態 17 における回路接続情報記憶手段のデータ例の内部接続情報を示す図

【図 109】従来例におけるゲートレベル電流解析方法を実現するための構成を示すブロック図

【図 110】従来例、実施形態 26 における回路接続情報記憶手段のデータ例を示す図

【図 111】従来例、実施形態 26 における信号変化パターン記憶手段のデータ例を示す図

【図 112】従来例における素子電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 113】従来例における総電流量記憶手段のデータ例を示す図

【図 114】従来例における総電流量算出手段のフローチャート

【図 115】従来例における回路内部のネットの信号変化を示す図

【図 116】従来の不要輻射解析方法を説明するフロー図である。

【図 117】本発明実施例の三角波モデル (実施形態 27)

【図118】電流波形算出処理ブロック図（実施形態27）

【図119】三角波整形処理フロー図（実施形態27）

【図120】本発明実施例の三角波モデル（実施形態28）

【図121】電流波形算出処理ブロック図（実施形態28）

【図122】本発明実施例の三角波モデル（実施形態29）

【図123】電流波形算出処理ブロック図（実施形態29）

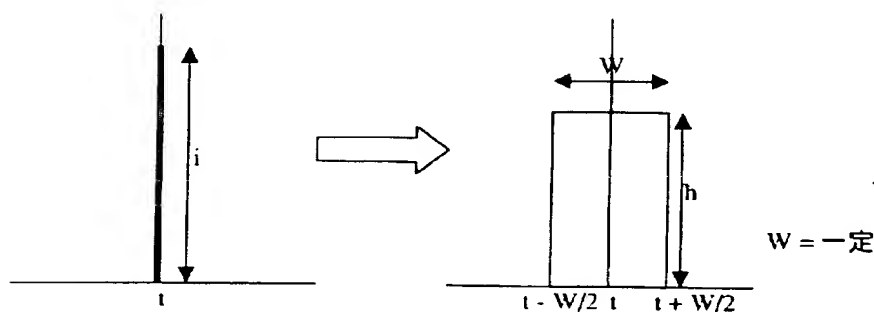
【符号の説明】

- 1 ネットリスト
- 2 テストベクタ
- 3 ライブラリ
- 4 論理シミュレータ
- 5 イベント情報
- 6 シミュレーション結果
- 7 電流波形算出処理部
- 8 電流波形算出結果
- 9 FFT処理部
- 10 EMI解析結果
- 11 瞬間電流算出処理部
- 12 瞬間電流算出結果
- 13 電流波形平均化処理部
- 20 第1の矩形波高算出処理部
- 21 第1の矩形波整形処理部
- 30 第2の矩形波高算出処理部
- 31 第2の矩形波幅算出処理部
- 32 第2の矩形波整形処理部
- 40 i-hテーブル
- 41 第3の矩形波高算出処理部
- 42 第3の矩形波幅算出処理部
- 43 第3の矩形波整形処理部
- 50 i-s-hテーブル
- 51 Slewデータ

- 52 第4の矩形波高算出処理部
- 53 第4の矩形波幅算出処理部
- 54 第4の矩形波整形処理部
- 60 i-c-hテーブル
- 61 容量データ
- 62 第5の矩形波高算出処理部
- 63 第5の矩形波幅算出処理部
- 64 第5の矩形波整形処理部
- 100 三角波高算出処理部
- 101 三角波整形処理部
- 120 ガウス関数波高算出処理部
- 121 i-wテーブル
- 122 ガウス関数波幅算出処理部
- 122 ガウス関数波整形処理部
- 130 ピーク電流ライブラリ
- 131 第6の矩形波高算出処理部
- 132 第6の矩形波幅算出処理部
- 133 第6の矩形波整形処理部
- 140 s-hテーブル
- 20 141 第7の矩形波高算出処理部
- 142 第7の矩形波幅算出処理部
- 143 第7の矩形波整形処理部
- 150 c-hテーブル
- 151 第8の矩形波高算出処理部
- 152 第8の矩形波幅算出処理部
- 153 第8の矩形波整形処理部
- 160 三角波高算出処理部
- 161 三角波幅算出処理部
- 162 三角波整形処理部
- 30 170 複数次関数波高算出処理部
- 171 複数次関数波幅算出処理部
- 172 複数次波整形処理部
- 180 ガウス関数波高算出処理部
- 181 波幅ライブラリ
- 182 ガウス関数波幅算出処理部
- 183 ガウス波整形処理部

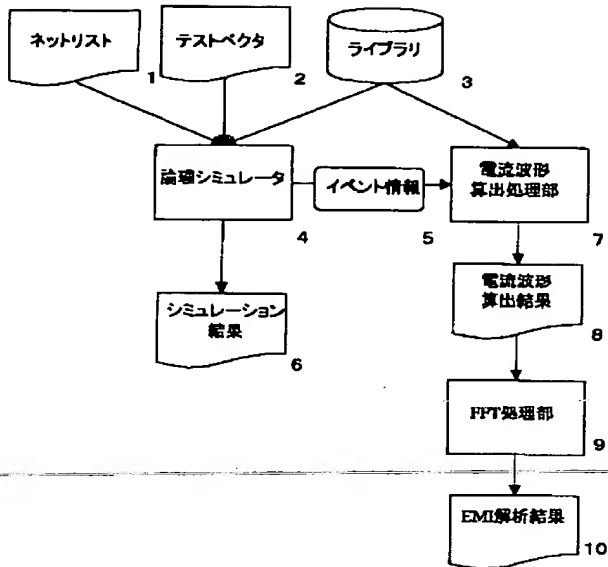
【図7】

図7 矩形波モデル(実施形態2)

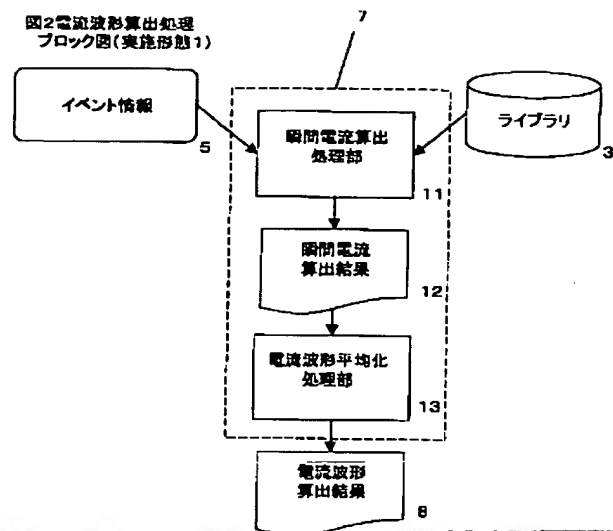


【図1】

図1 全体ブロック図



【図2】

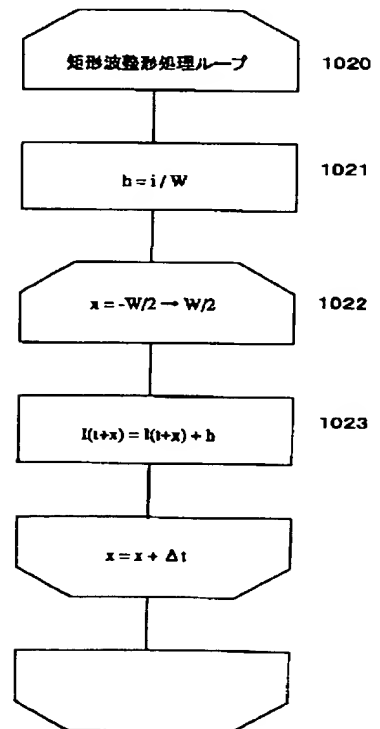
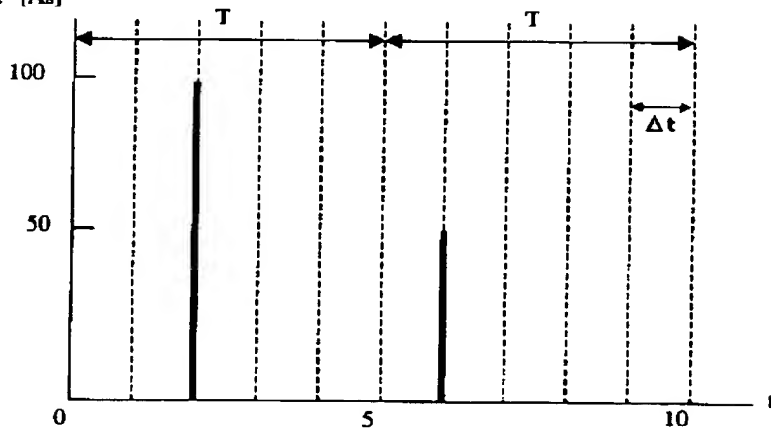
図2電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態1)

【図9】

図9 第1の矩形波整形処理フロー図

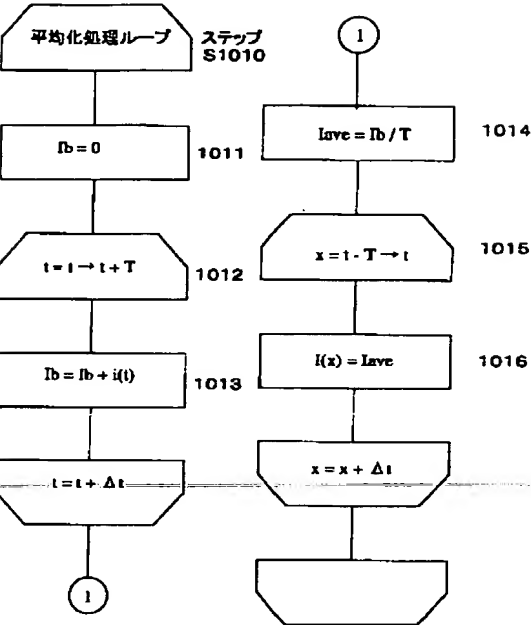
【図3】

図3 瞬間電流算出結果

電流量  $i_t$  [As]

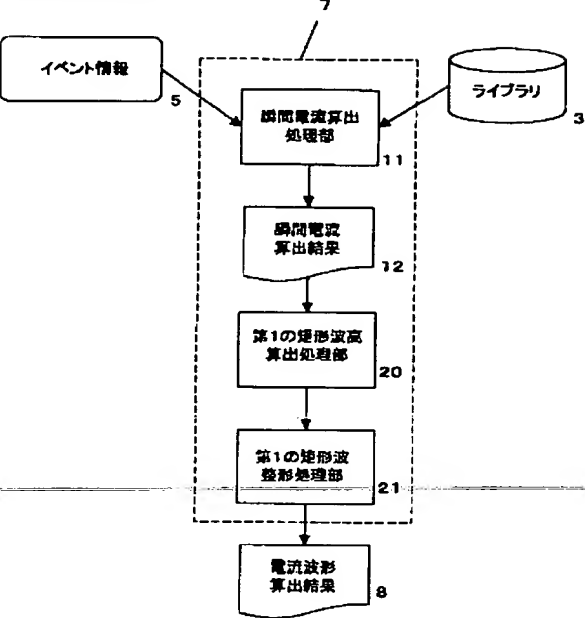
【図4】

図4 電流波形平均化処理フロー図



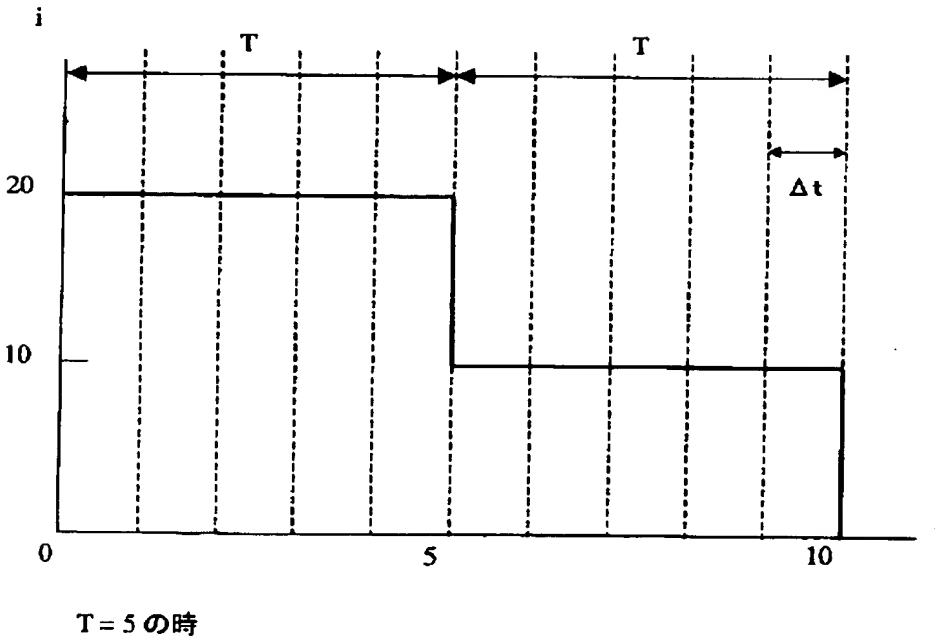
【図8】

図8 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態2)



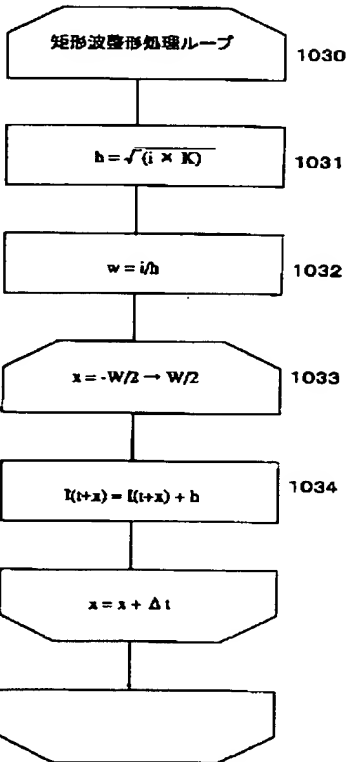
【図5】

図5 電流波形算出結果(実施形態1)



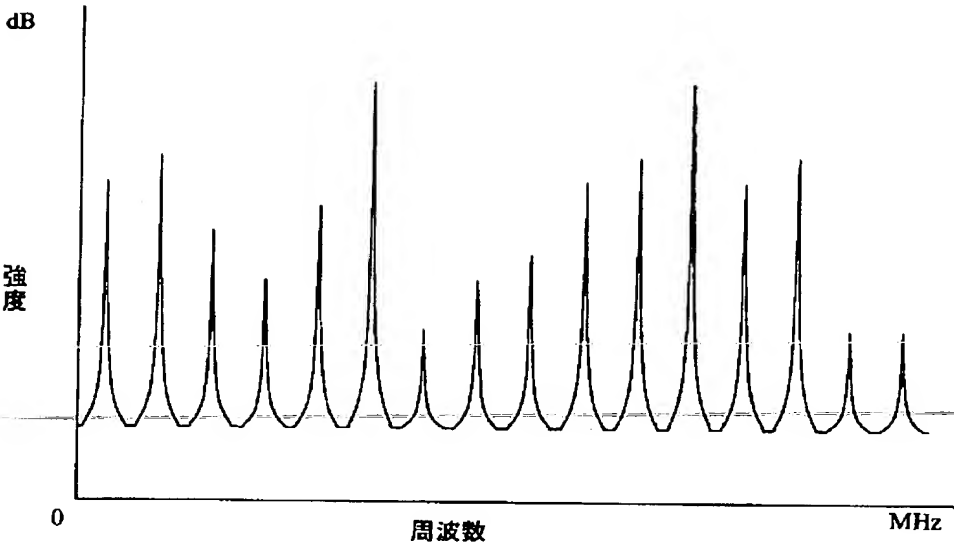
【図13】

図13 第2の矩形波整形処理フロー図



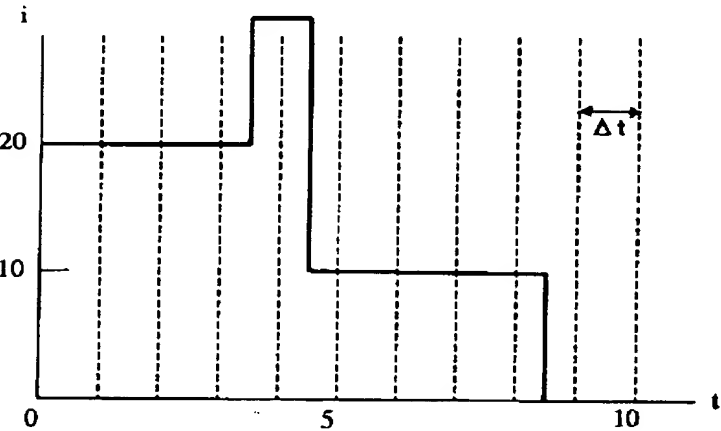
【図6】

図6 FFT解析結果



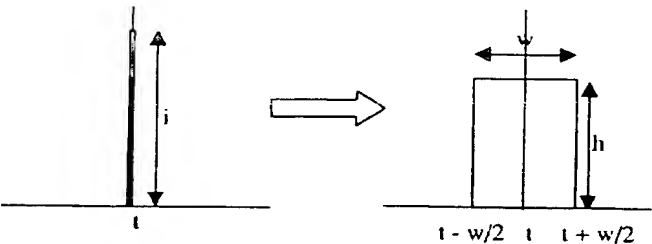
【図10】

図10 電流波形算出結果(実施形態2)



【図11】

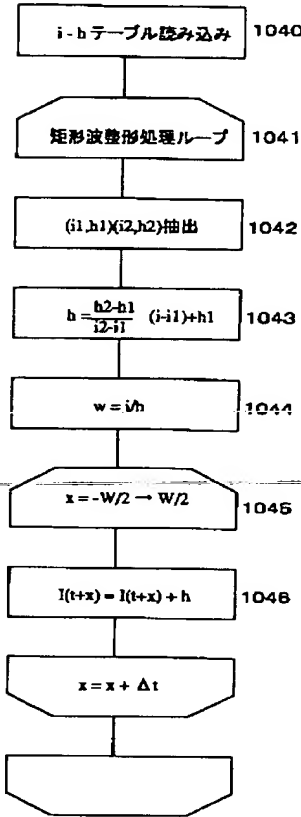
図11 矩形波モデル(実施形態3)



$$i = W \times h = \frac{h^2}{K}$$
$$h = \sqrt{(i \times K)}$$
$$h/w = K = \text{一定}$$

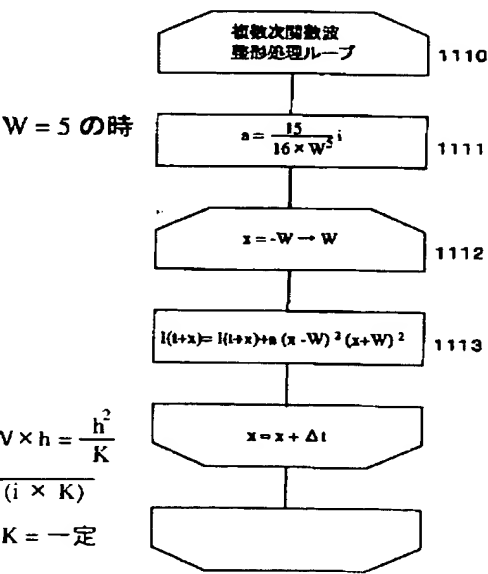
【図18】

図18 第3の矩形波整形処理フロー図



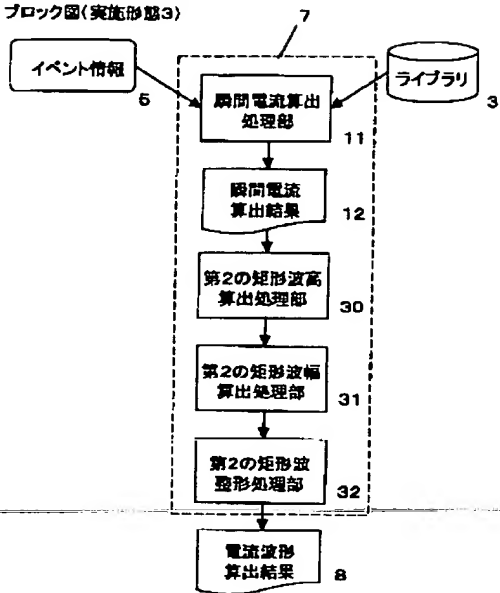
【図48】

図48 複数次関数整形処理フロー図



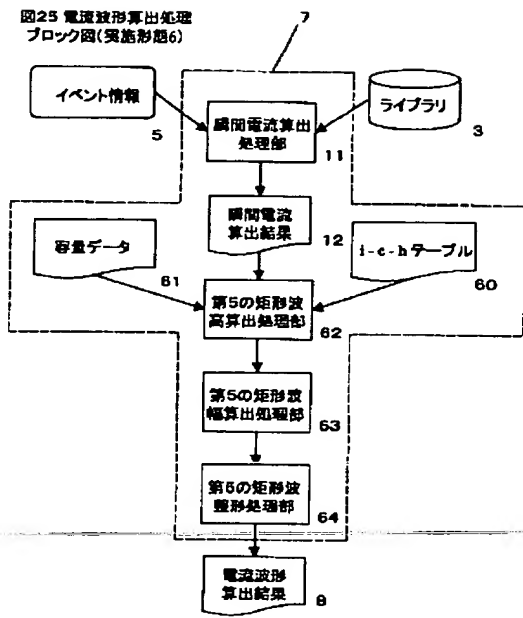
【図12】

図12 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態3)



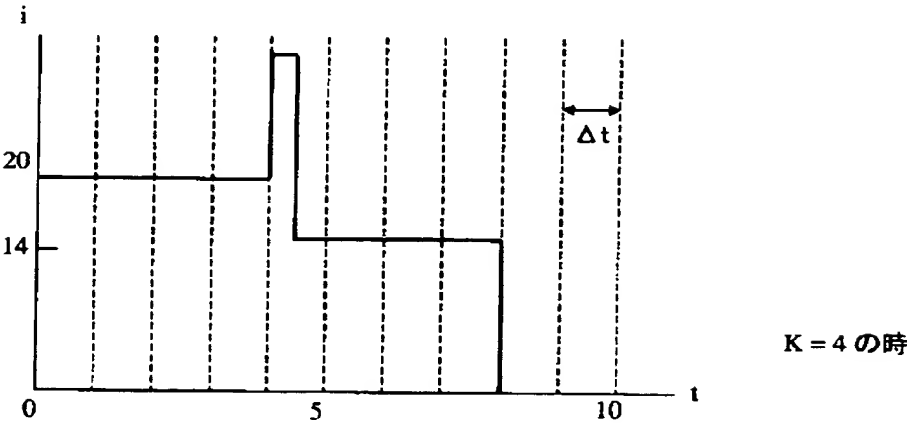
【図25】

図25 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態6)



【図14】

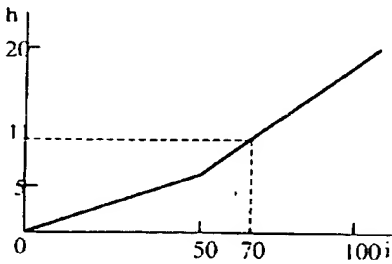
図14 電流波形算出結果(実施形態3)



【図16】

図16 i-h テーブル

i	h
0	0
50	5
100	20



i = 70 の場合  
(i1,h1)=(50,5)  
(i2,h2)=(100,20)

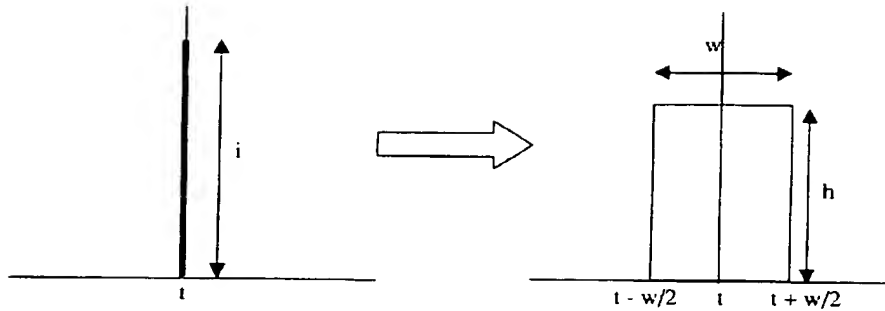
$$h(i) = \frac{h2-h1}{i2-i1} (i-i1) + h1$$

$$h(70) = 11$$

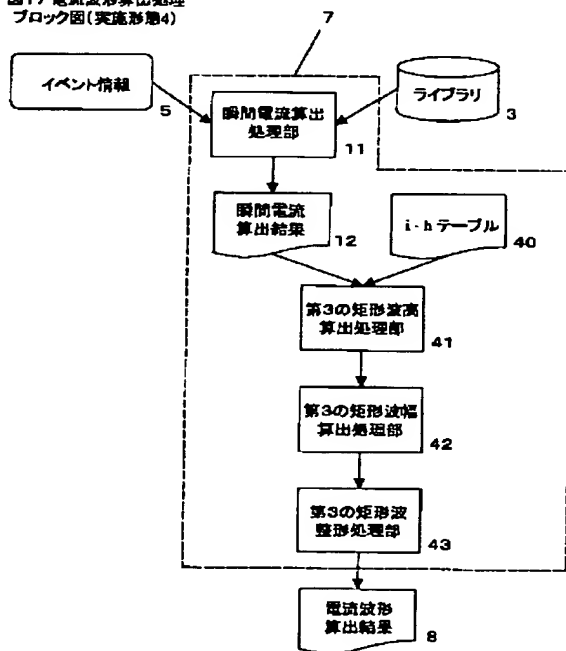


【図15】

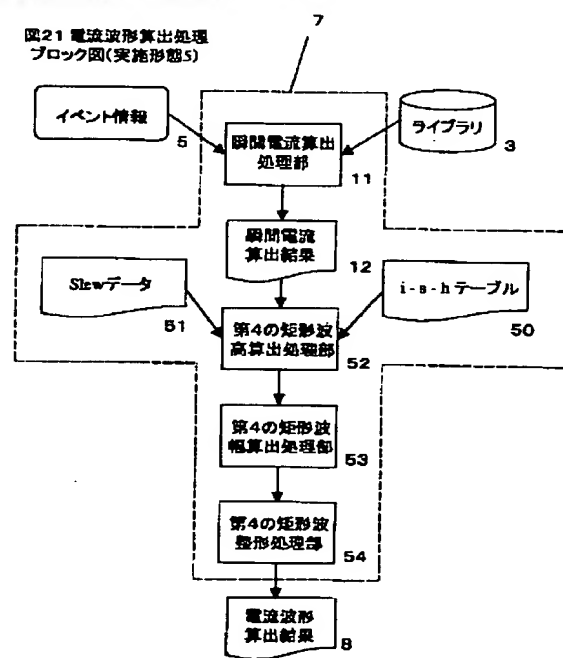
図15 矩形波モデル(実施形態4,5,6)



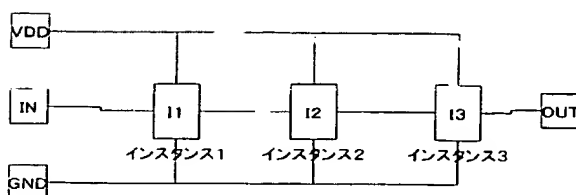
【図17】

図17 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態4)

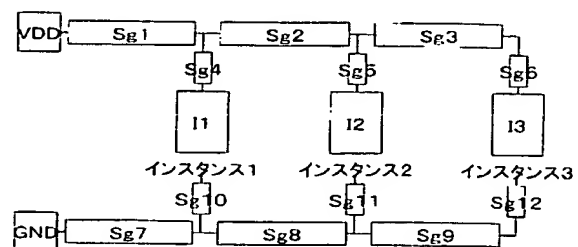
【図21】

図21 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態5)

【図30】

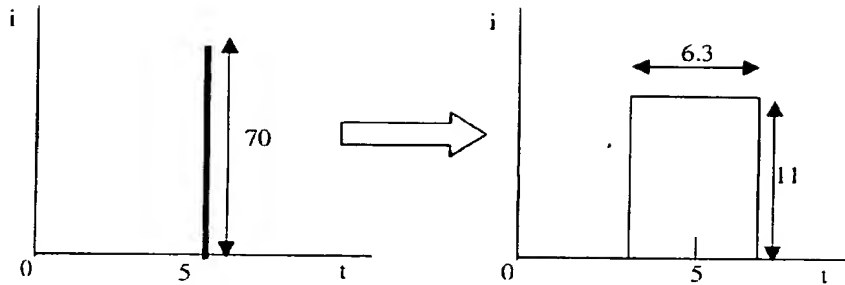


【図31】



【図 19】

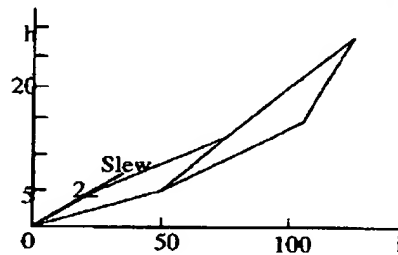
図 19 電流波形算出結果(実施形態4)



【図 20】

図 20 i-s-h テーブル

s \ i	0	50	100
0	0	5	14
2	0	6	20



$i = 70, s = 1$  の場合

$s1 = 0, s2 = 2, i1 = 50, i2 = 100$

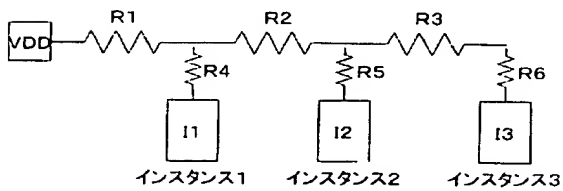
$h(s1, i1) = 5, h(s1, i2) = 14$

$h(s2, i1) = 6, h(s2, i2) = 20$

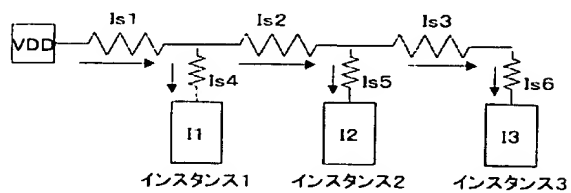
$$h(s, i) = \left( \frac{h(s1, i1)(s2 - s)}{(s2 - s1)} + \frac{h(s2, i1)(s - s1)}{(s2 - s1)} \right) \left( \frac{i2 - i}{i2 - i1} \right) + \left( \frac{h(s1, i2)(s2 - s)}{(s2 - s1)} + \frac{h(s2, i2)(s - s1)}{(s2 - s1)} \right) \left( \frac{i - i1}{i2 - i1} \right)$$

$h(1, 70) = 10.1$

【図 32】



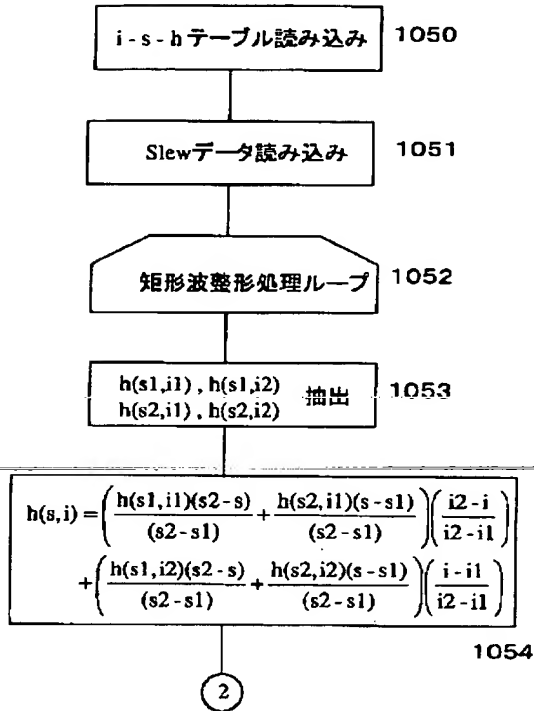
【図 33】



$$\begin{aligned} Is1 &= I1 + I2 + I3 \\ Is2 &= I2 + I3 \\ Is3 &= I3 \\ Is4 &= I1 \\ Is5 &= I2 \\ Is6 &= I3 \end{aligned}$$

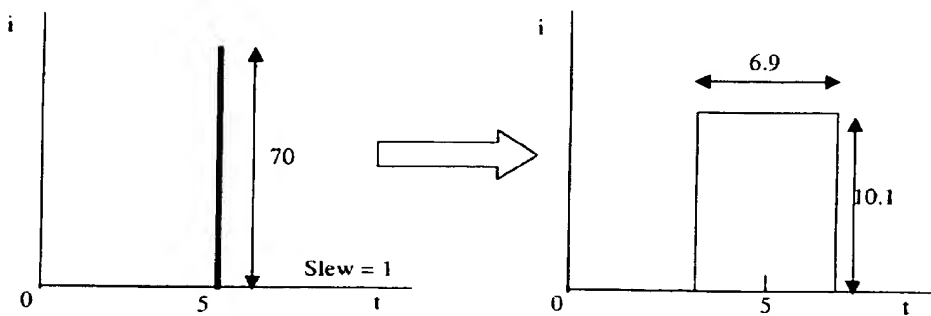
【図22】

図22 第4の矩形波整形処理フロー図



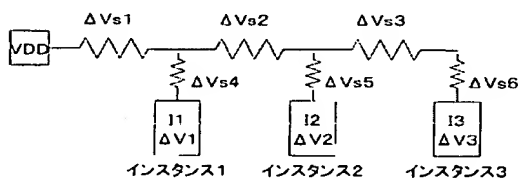
【図23】

図23 電流波形算出結果(実施形態5)

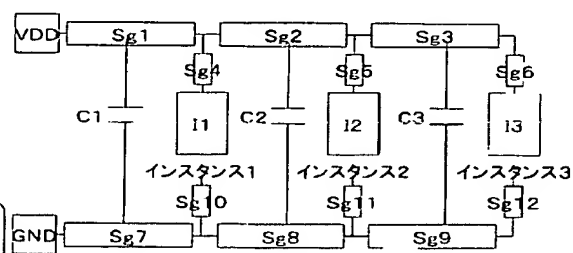


【図35】

【図38】

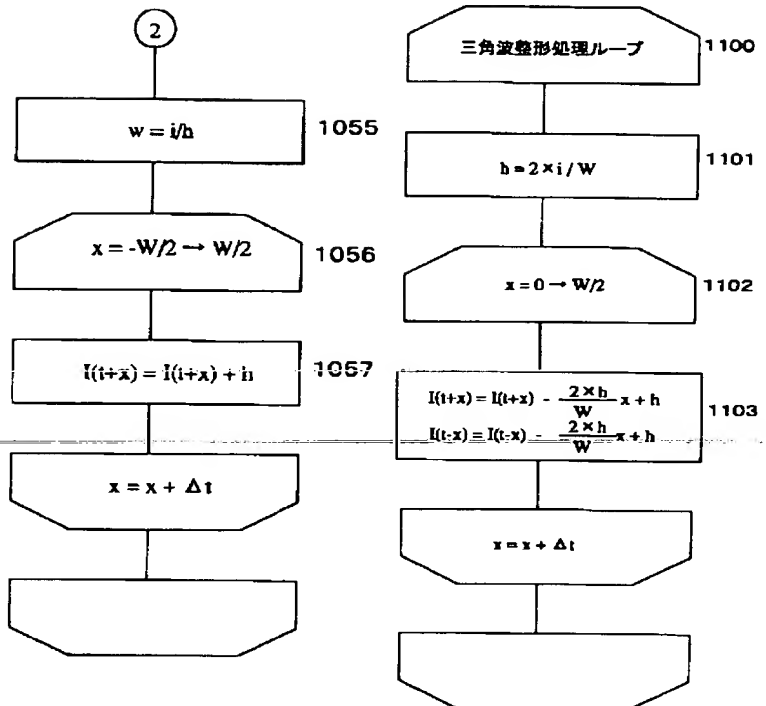


インスタンス1の電圧降下:  $\Delta V_1 = \Delta V_{s1} + \Delta V_{s4}$   
 インスタンス2の電圧降下:  $\Delta V_2 = \Delta V_{s1} + \Delta V_{s2} + \Delta V_{s5}$   
 インスタンス3の電圧降下:  $\Delta V_3 = \Delta V_{s1} + \Delta V_{s2} + \Delta V_{s3} + \Delta V_{s6}$



【図44】

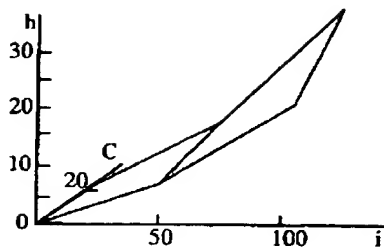
図44 三角波整形処理フロー図



【図 24】

図24 i-c-h テーブル

$\begin{smallmatrix} c \\ i \end{smallmatrix}$	0	50	100
0	0	5	20
20	0	8	25



$i = 70, c = 10$  の場合

$c1 = 0, c2 = 20, i1 = 50, i2 = 100$

$h(c1, i1) = 5, h(c1, i2) = 20$

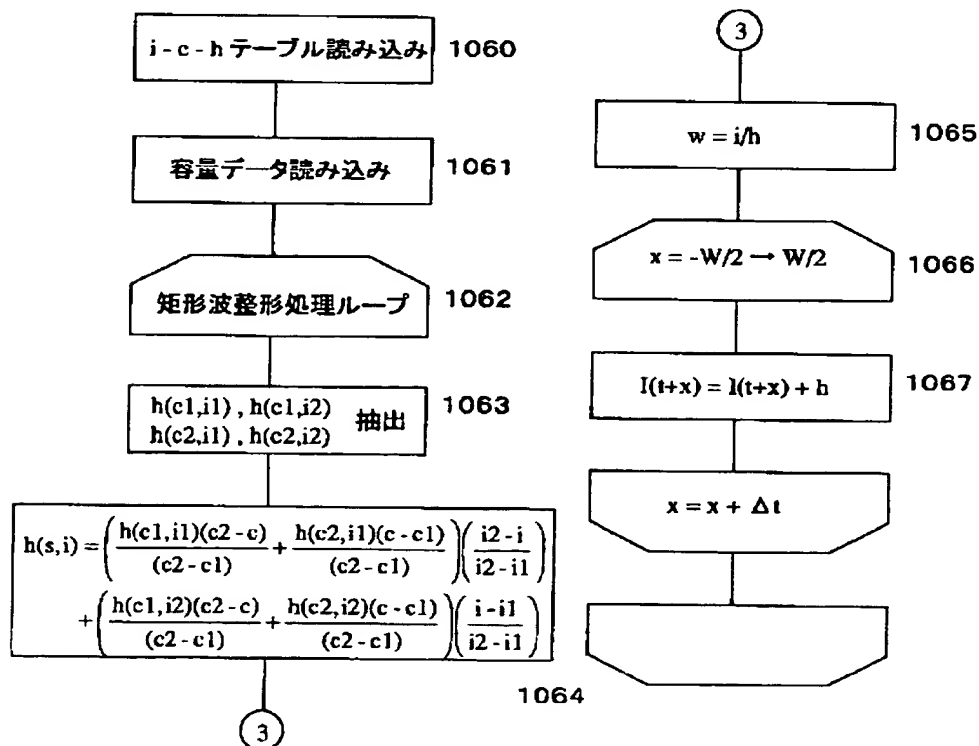
$h(c2, i1) = 8, h(c2, i2) = 25$

$$h(s, i) = \left( \frac{h(c1, i1)(c2 - c)}{(c2 - c1)} + \frac{h(c2, i1)(c - c1)}{(c2 - c1)} \right) \left( \frac{i2 - i}{i2 - i1} \right) + \left( \frac{h(c1, i2)(c2 - c)}{(c2 - c1)} + \frac{h(c2, i2)(c - c1)}{(c2 - c1)} \right) \left( \frac{i - i1}{i2 - i1} \right)$$

$h(10, 70) = 12.9$

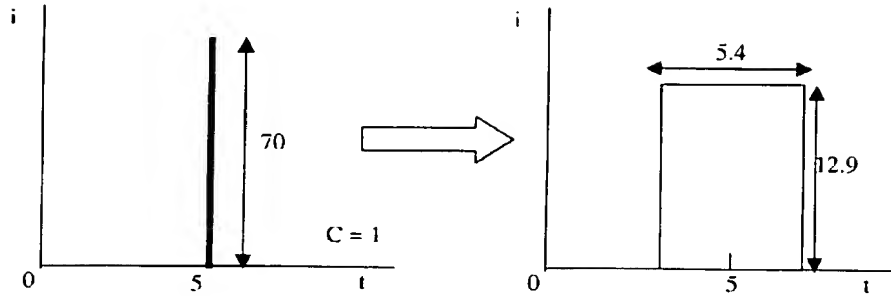
【図 26】

図26 第5の矩形波整形処理フロー図

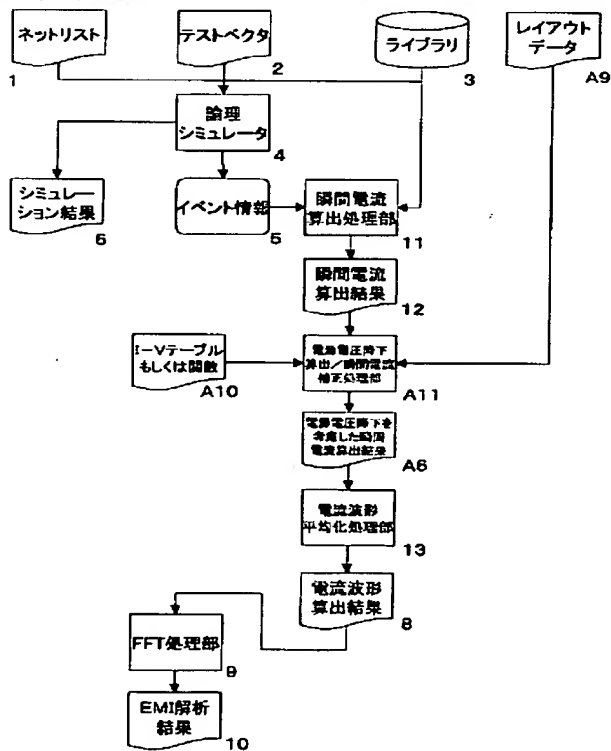


【図27】

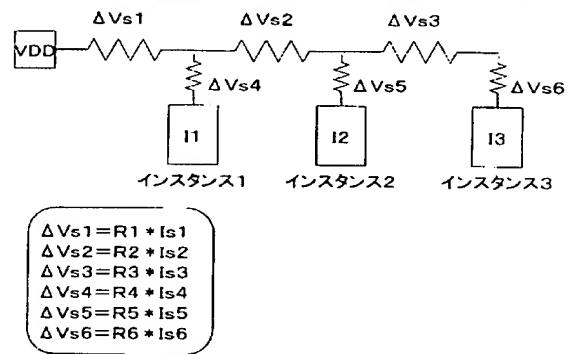
図27 電流波形算出結果(実施形態6)



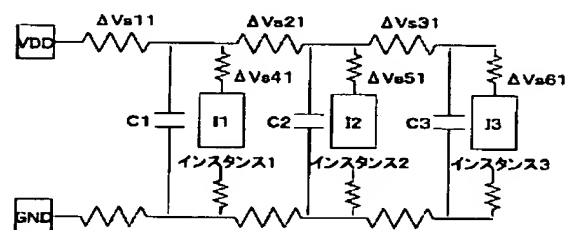
【図28】



【図34】



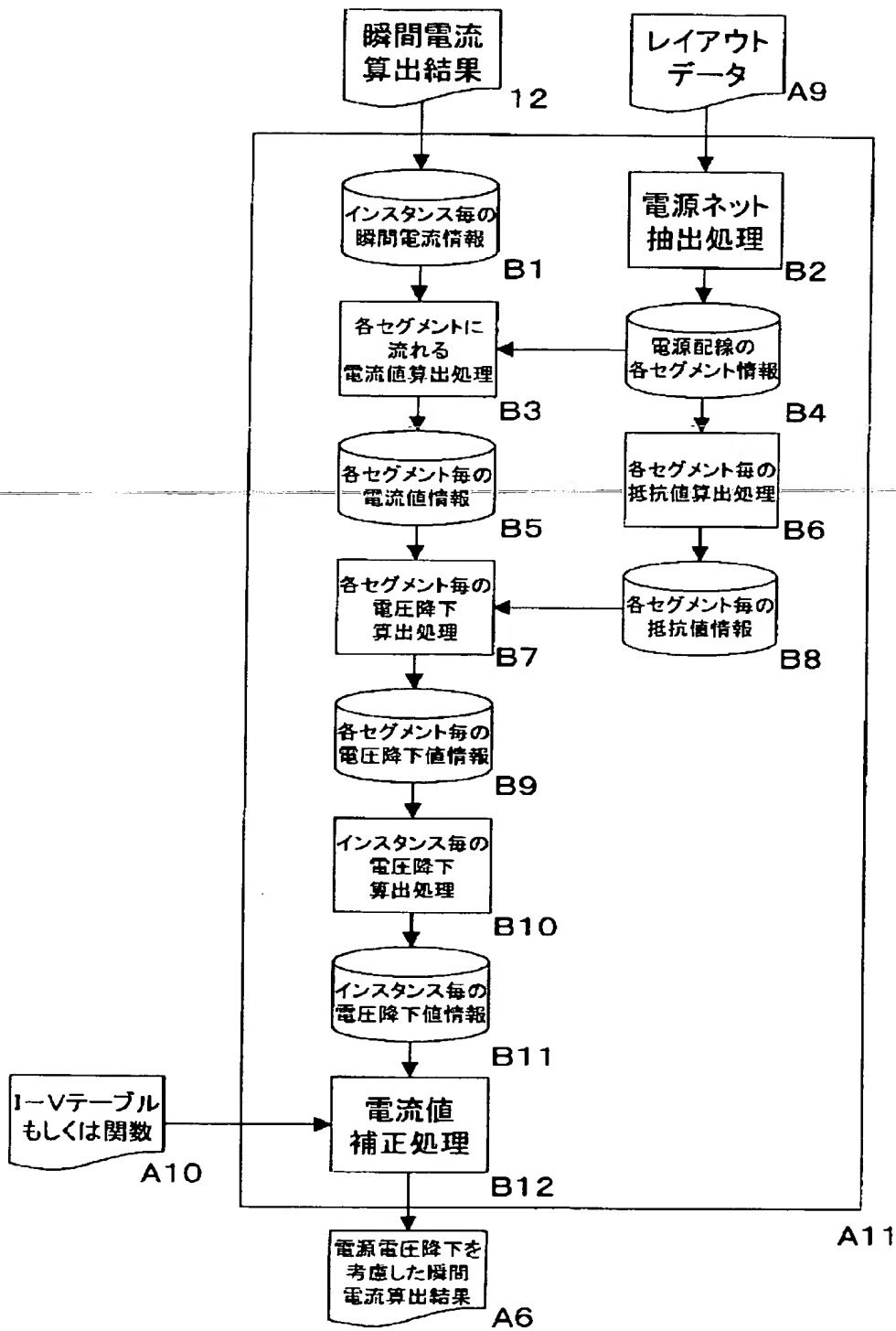
【図39】



$$\begin{aligned}
 \Delta V_{s11} &= f(C1, \Delta V_{s1}) \\
 \Delta V_{s21} &= f(C2, \Delta V_{s2}) \\
 \Delta V_{s31} &= f(C3, \Delta V_{s3}) \\
 \Delta V_{s41} &= \Delta V_{s4} \\
 \Delta V_{s51} &= \Delta V_{s5} \\
 \Delta V_{s61} &= \Delta V_{s6}
 \end{aligned}$$

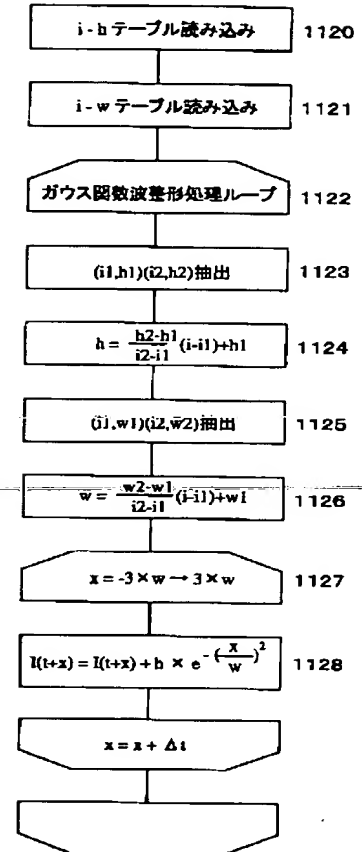
インスタンス1の電圧降下:  $\Delta V1 = \Delta V_{s11} + \Delta V_{s41}$   
 インスタンス2の電圧降下:  $\Delta V2 = \Delta V_{s11} + \Delta V_{s21} + \Delta V_{s51}$   
 インスタンス3の電圧降下:  $\Delta V3 = \Delta V_{s11} + \Delta V_{s21} + \Delta V_{s31} + \Delta V_{s61}$

【図29】

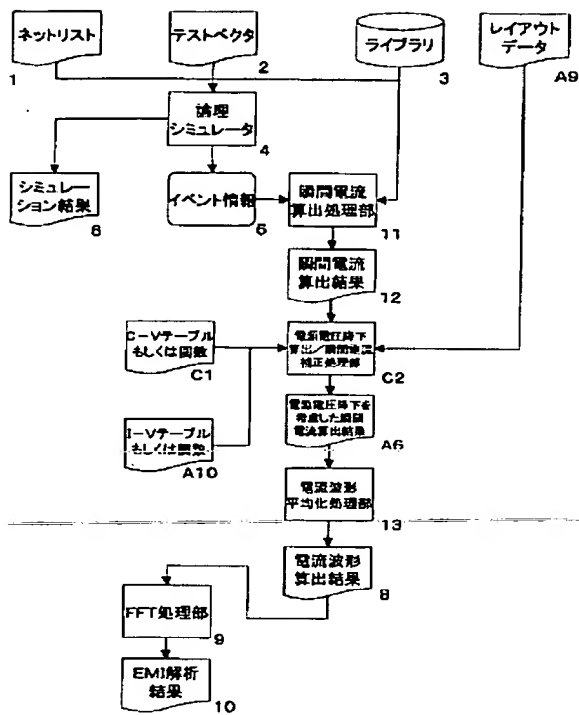


【図54】

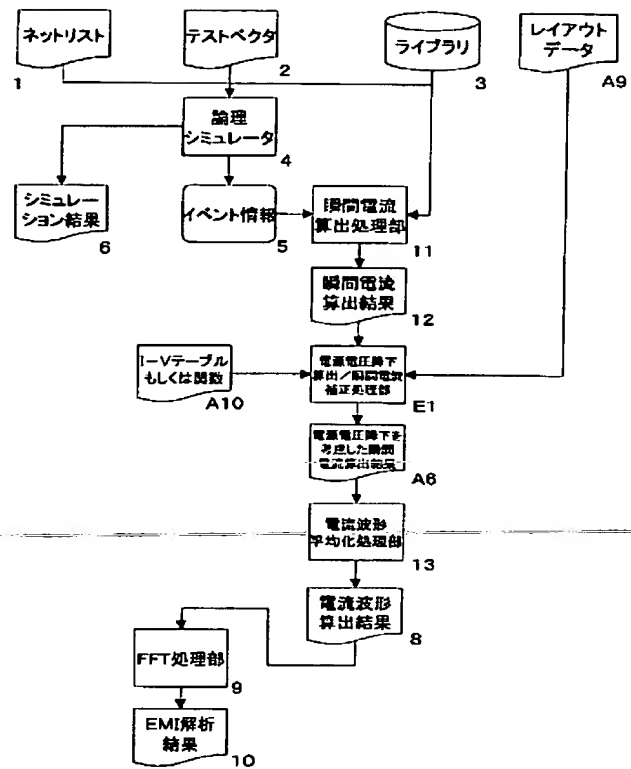
図54 ガウス演算処理フロー図



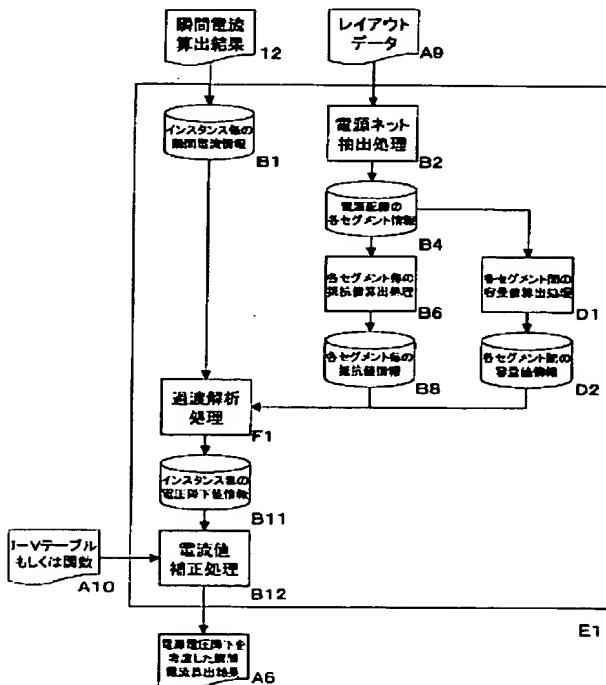
【図36】



【図40】

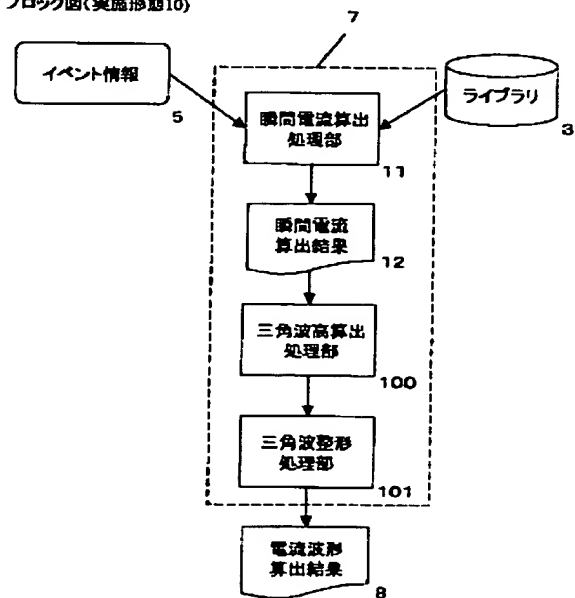


【図41】



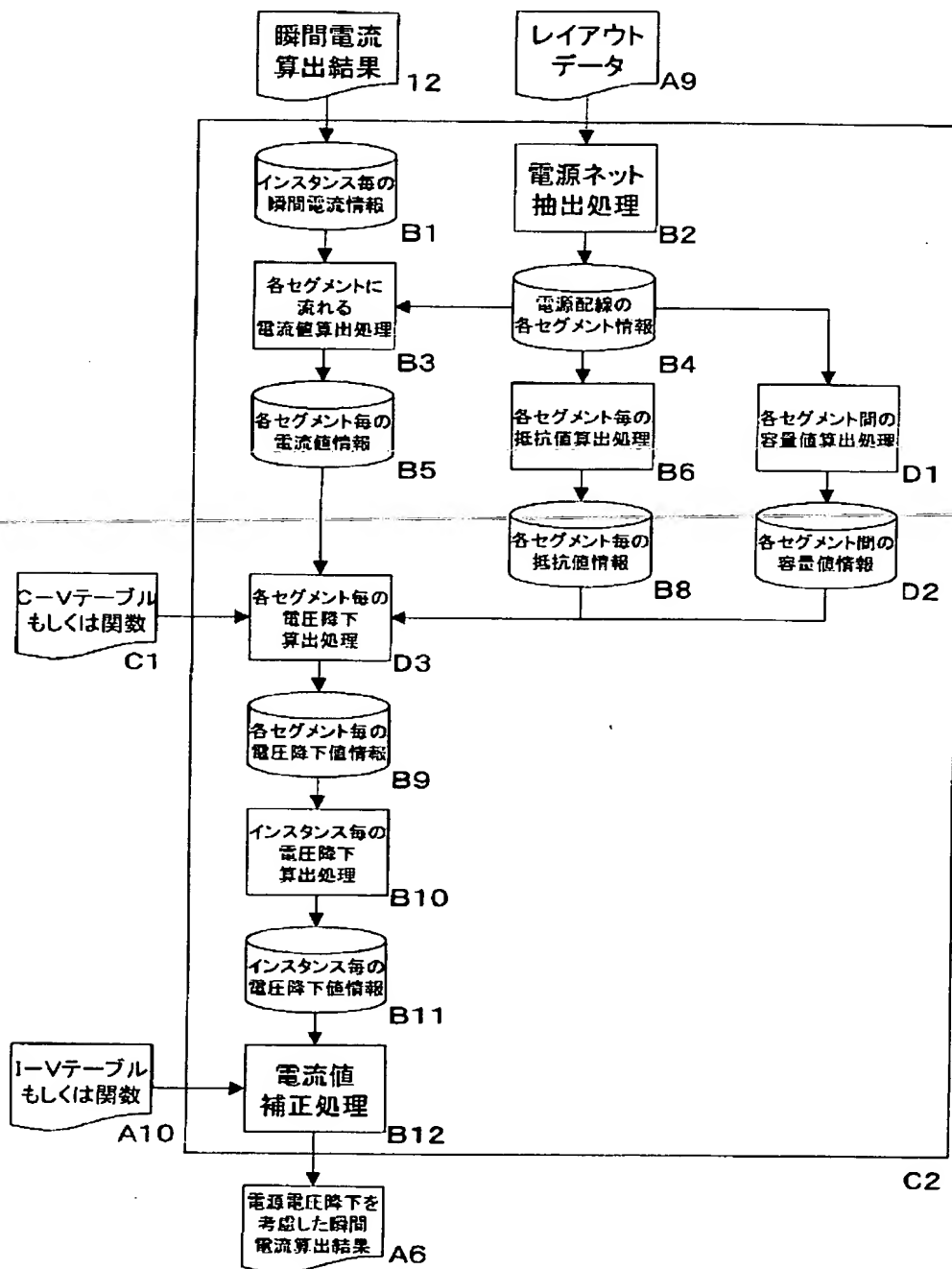
【図43】

図43 電流波形算出処理ブロック図(実施形態10)



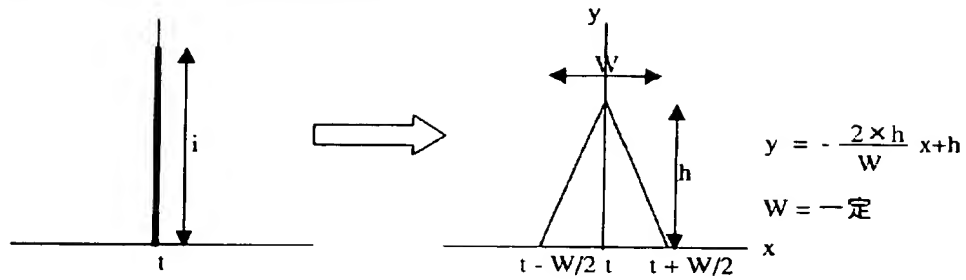


【図37】



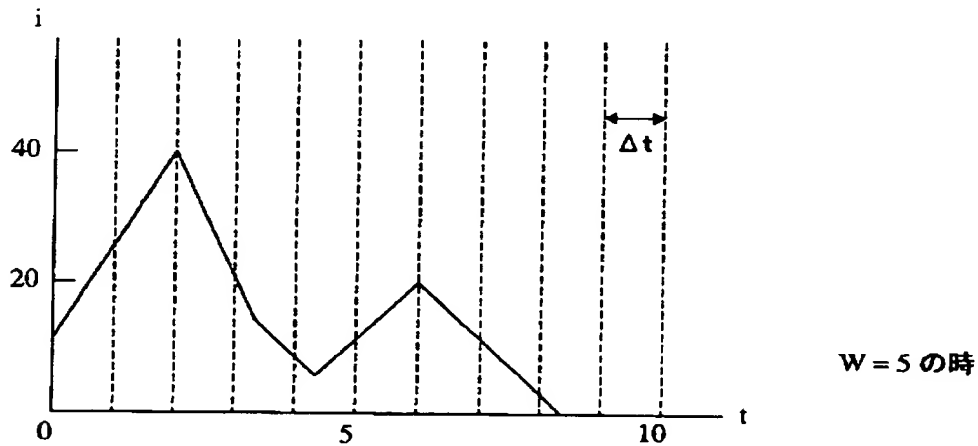
【図42】

図42 三角波モデル(実施形態10)



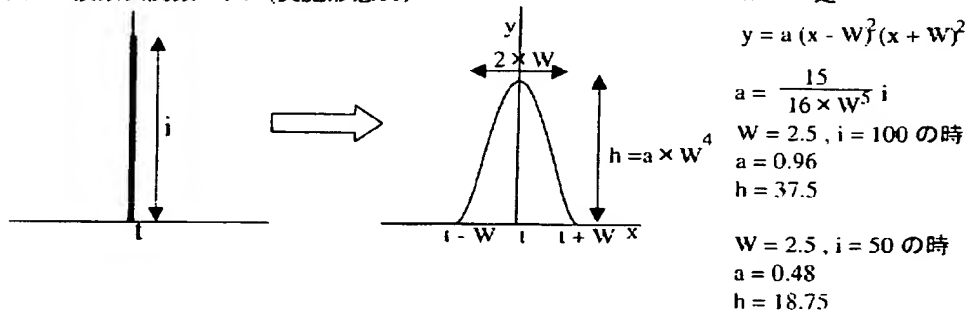
【図45】

図45 電流波形算出結果(実施形態10)

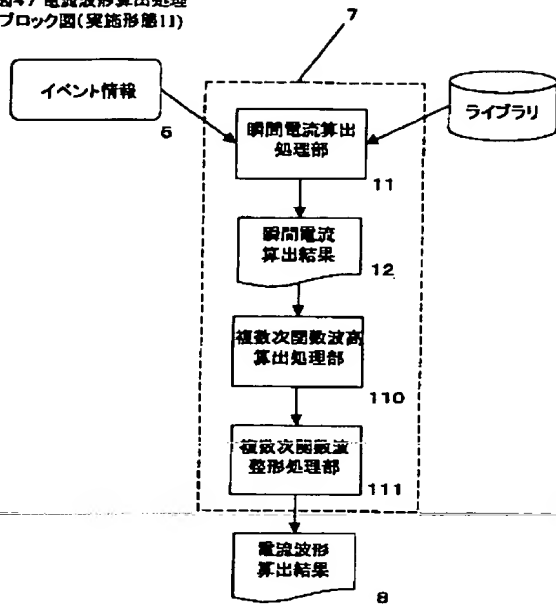


【図46】

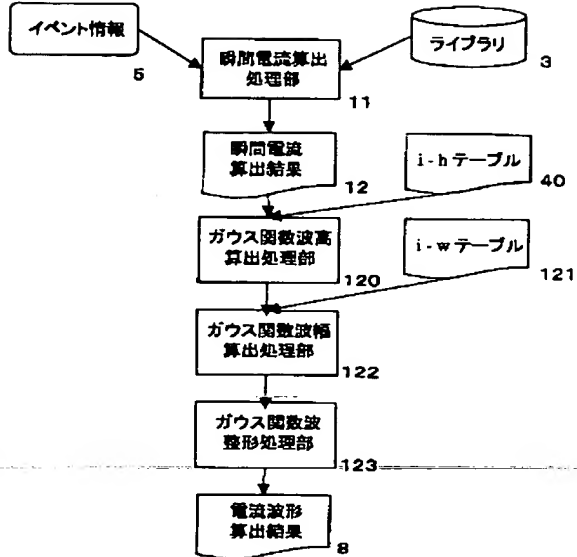
図46 複数関数モデル(実施形態11)



【図 47】

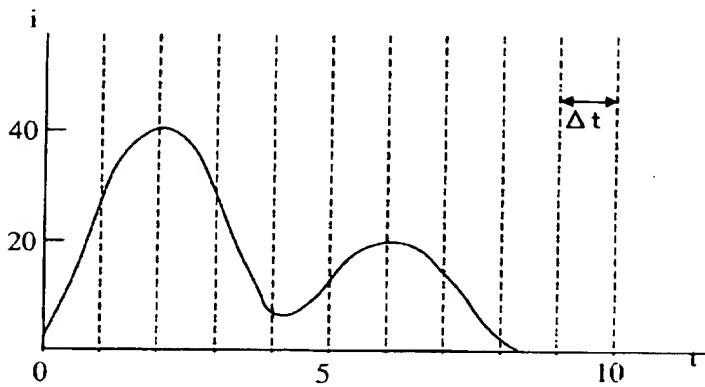
図47 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態11)

【図 53】

図53 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態12)

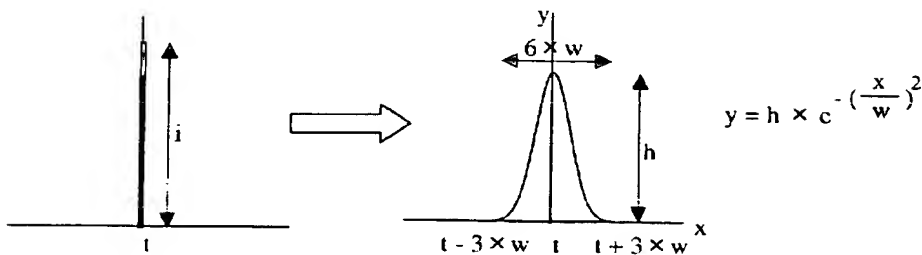
【図 49】

図49 電流波形算出結果(実施形態11)



【図 50】

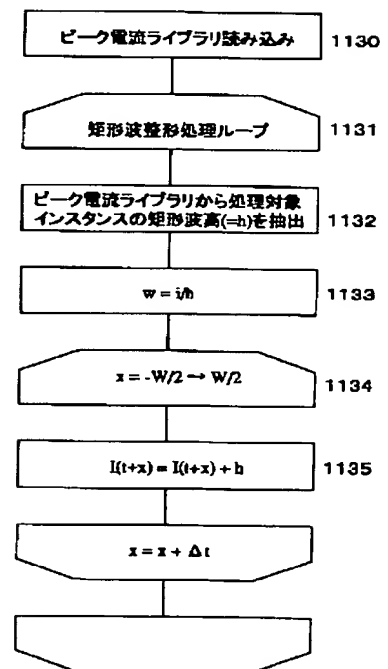
図50 ガウス関数モデル(実施形態12.25)



【図 62】

図62 第6の矩形波整形処理フロー図

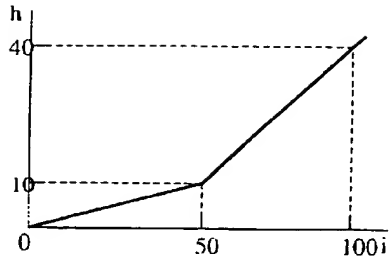
W = 2.5 の時



【図 5 1】

図51 i-h テーブル

i	h
0	0
50	10
100	40



i = 50, 100 の場合

(i1, h1) = (50, 5)

(i2, h2) = (100, 20)

$$h(i) = \frac{h_2 - h_1}{i_2 - i_1} (i - i_1) + h_1$$

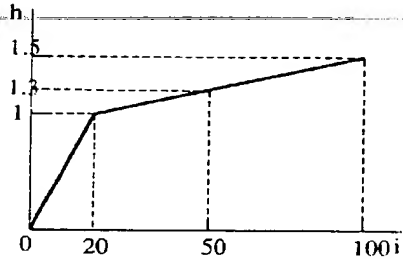
h(50) = 10

h(100) = 40

【図 5 2】

図52 i-w テーブル

i	w
0	0
20	1
100	1.5



i = 50, 100 の場合

(i1, w1) = (20, 1)

(i2, w2) = (100, 1.5)

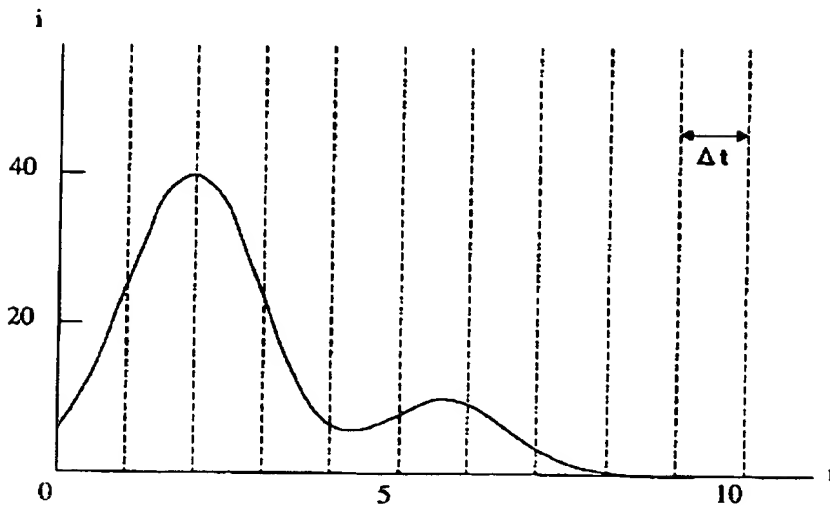
$$w(i) = \frac{w_2 - w_1}{i_2 - i_1} (i - i_1) + w_1$$

w(50) = 1.3

w(100) = 1.5

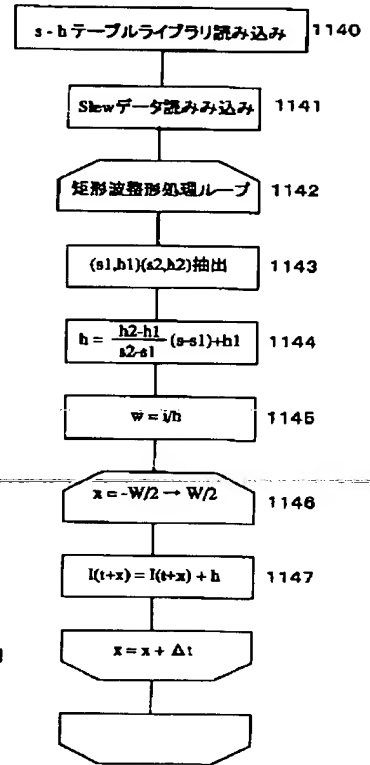
【図 5 5】

図55 電流波形算出結果(実施形態12)



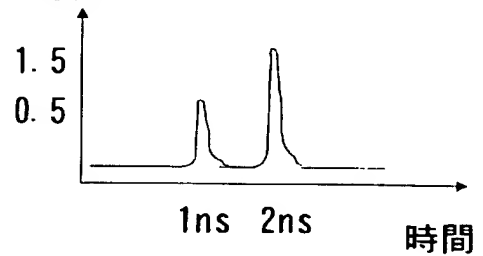
【図 6 5】

図65 第7の矩形波整形処理フロー図



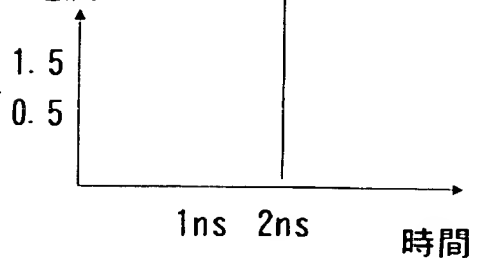
【図 7 0】

電流

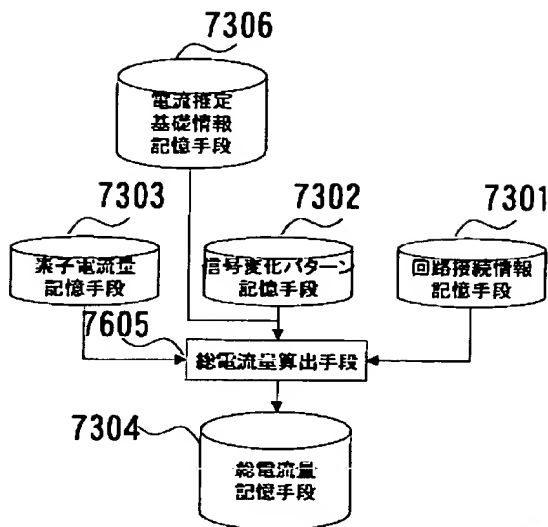


【図 7 1】

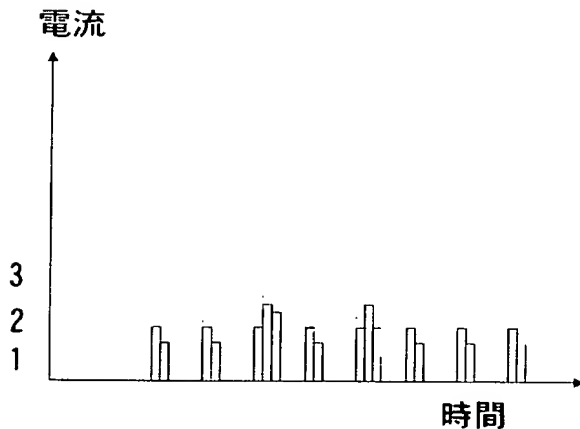
電流



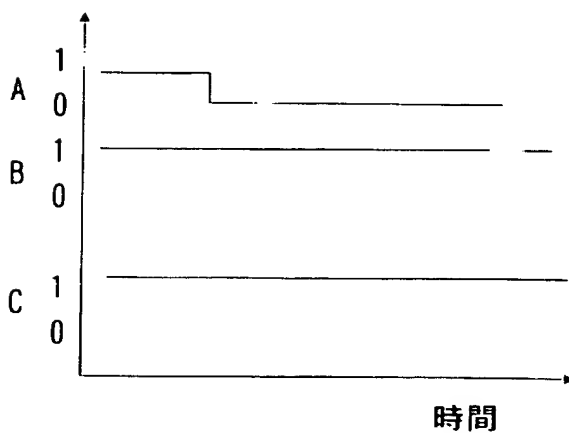
【図56】



【図58】



【図69】

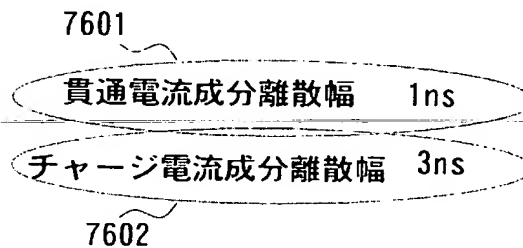


【図57】

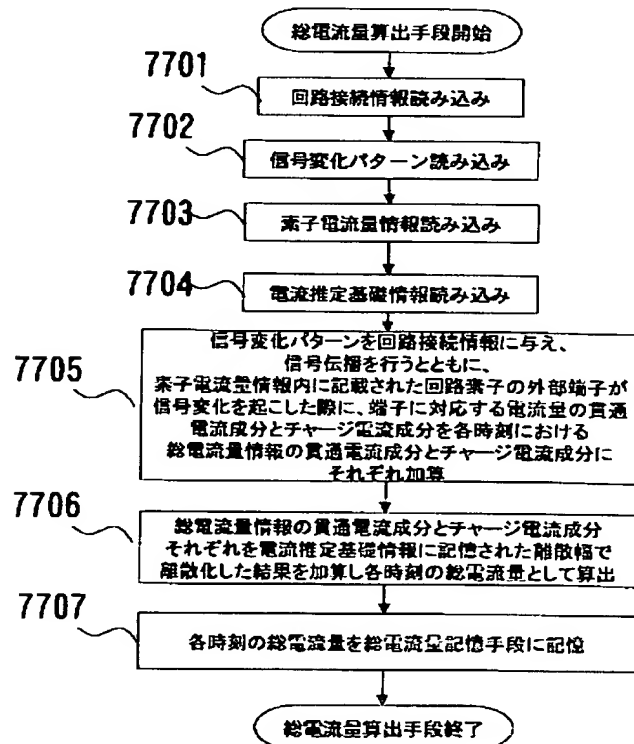
フリップフロップFF			
Y変化時貫通電流成分電流量	2mA	→	~7401
Y変化時チャージ電流成分電流量	3mA	→	~7402
CK変化時貫通電流成分電流量	1mA	→	~7403
CK変化時チャージ電流成分電流量	1mA	→	~7404

バッファBUF		
Y変化時貫通電流成分電流量	0.5mA	~7405
Y変化時チャージ電流成分電流量	0.5mA	~7406

【図59】

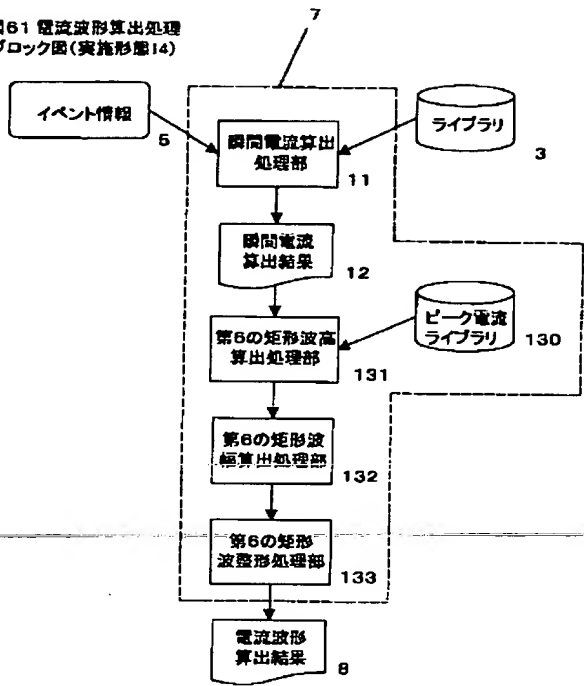


【図60】



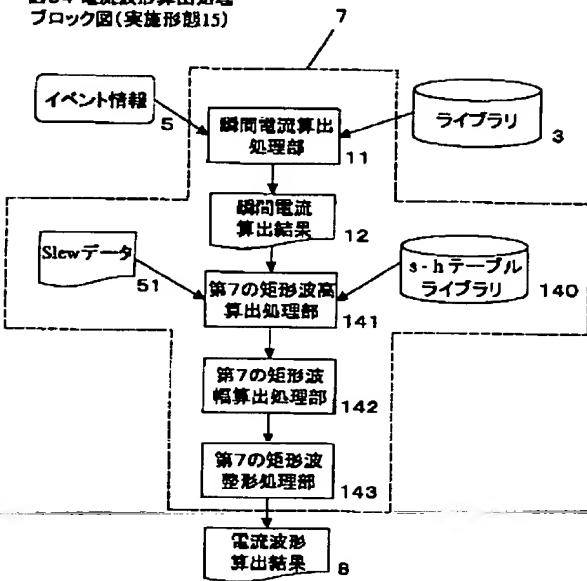
【図61】

図61 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態14)



【図64】

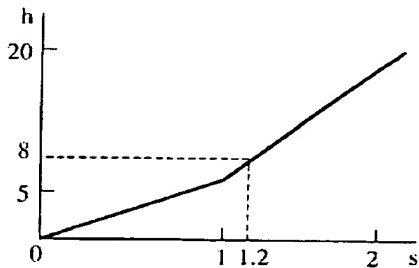
図64 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態15)



【図63】

図63 s-hテーブル

s	h
0	0
1	5
2	20



s = 1.2 の場合

(s1,h1)=(1,5)

(s2,h2)=(2,20)

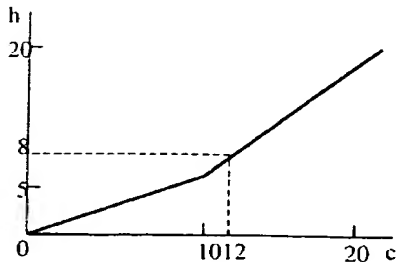
$$h(s) = \frac{h2-h1}{s2-s1} (s-s1) + h1$$

$$h(1.2)=8$$

【図66】

図66 c-hテーブル

c	h
0	0
10	5
20	20



c = 12 の場合

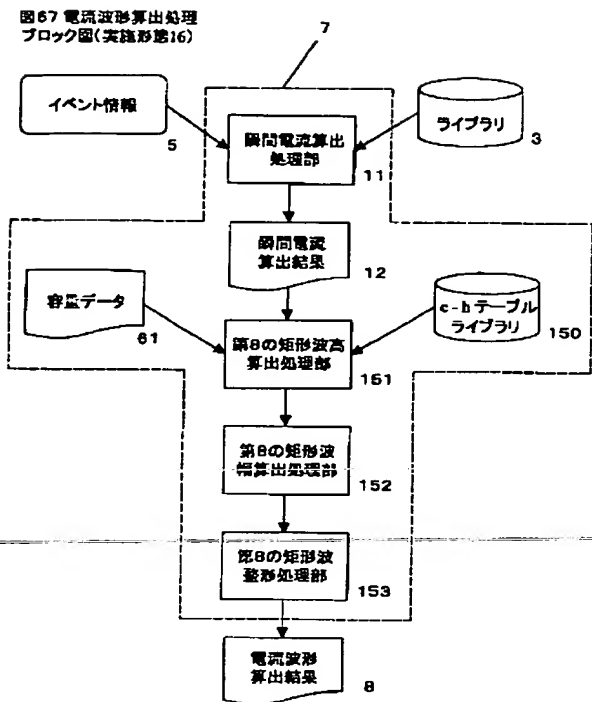
(c1,h1)=(10,5)

(c2,h2)=(20,20)

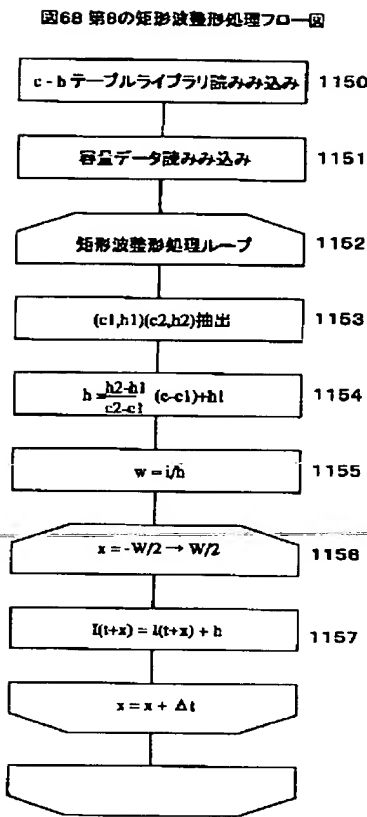
$$h(c) = \frac{h2-h1}{c2-c1} (c-c1) + h1$$

$$h(12)=8$$

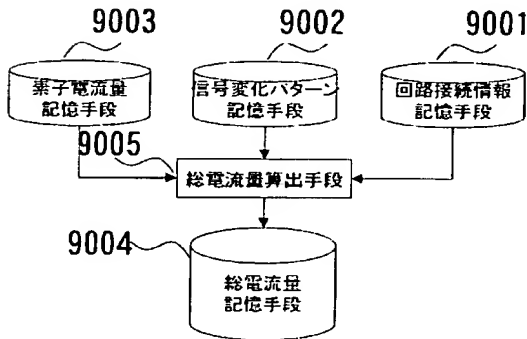
【図67】



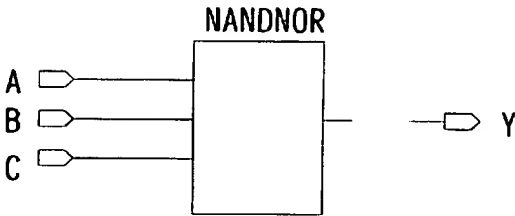
【図68】



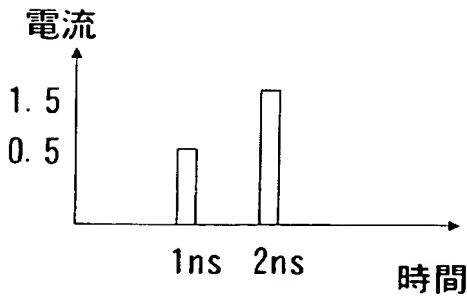
【図72】



【図73】



【図74】



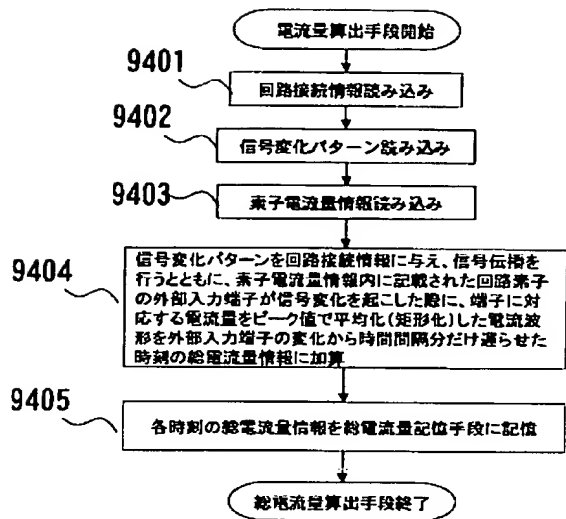
【図75】

NANDNOR

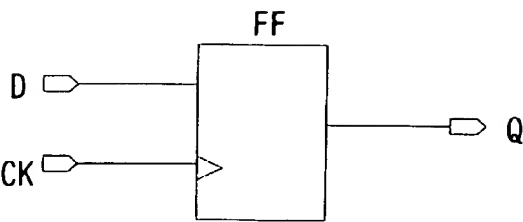
変化ビン	時間	電流総量	ピーク
A	1ns	1mA	0.5mA
A	2ns	3mA	1.5mA
B	1ns	1mA	0.5mA
B	2ns	3mA	1.5mA
C	1ns	3mA	1.5mA



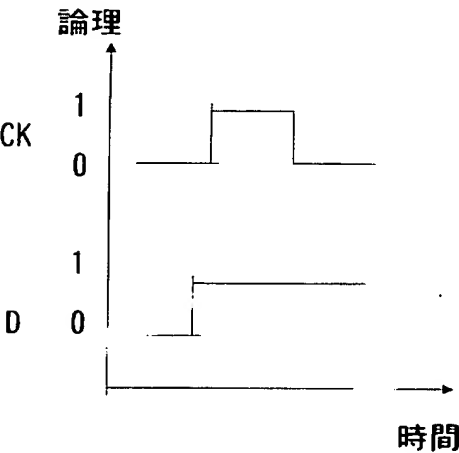
【図76】



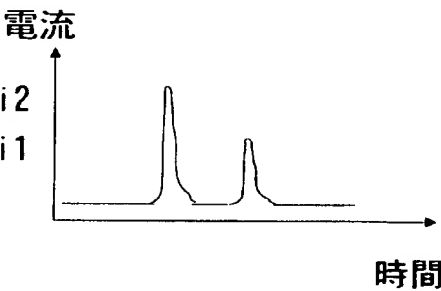
【図77】



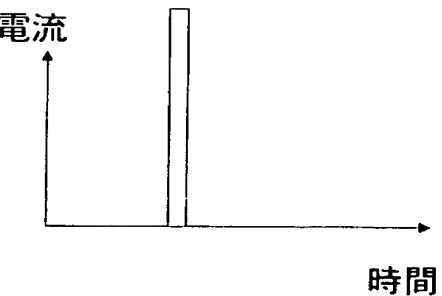
【図78】



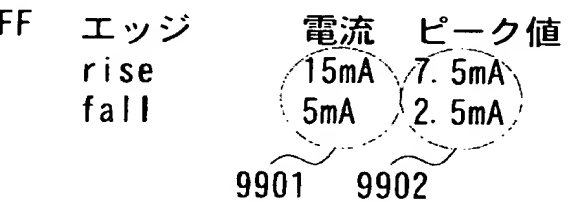
【図79】



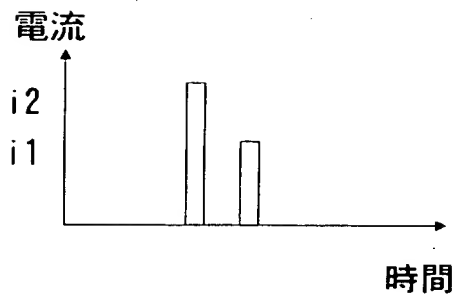
【図80】



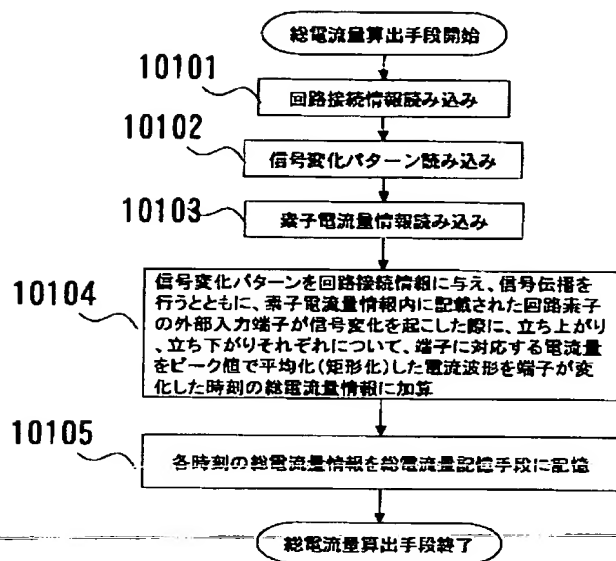
【図81】



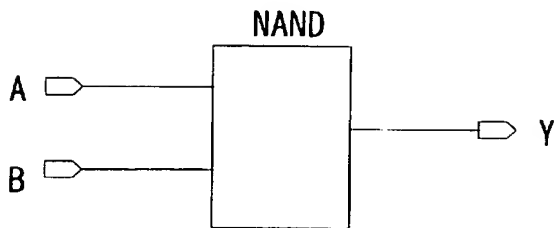
【図82】



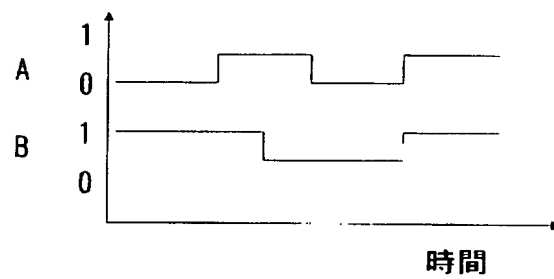
【図83】



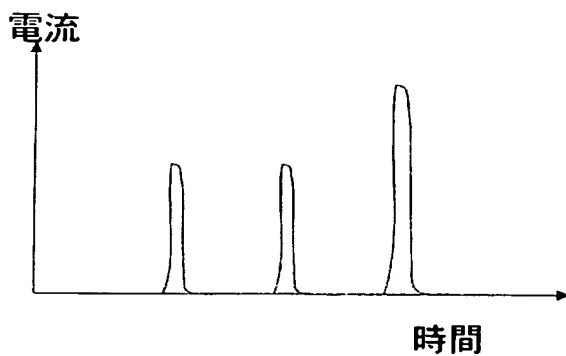
【図84】



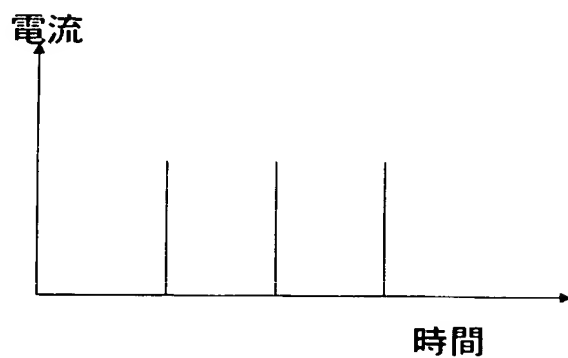
【図85】



【図86】



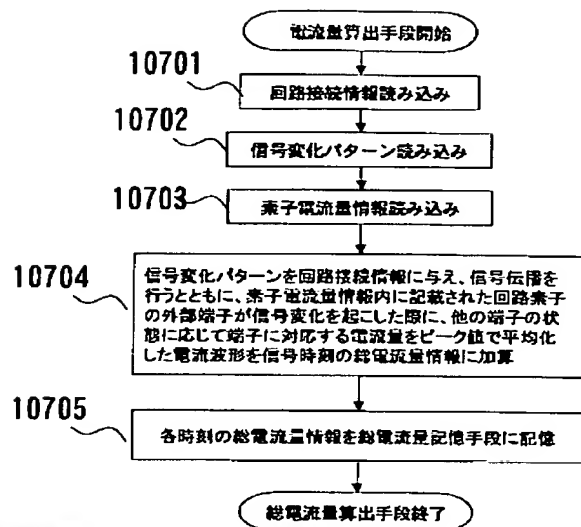
【図87】



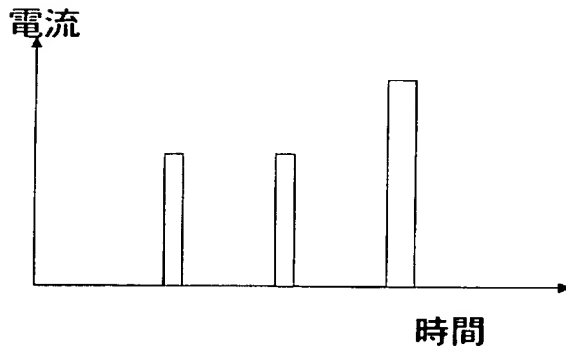
【図88】

論理和否定 NAND Y端子	
A=1, B=0→1時の電流総量	3mA
A=1, B=0→1時のピーク値	1mA
A=1, B=1→0時の電流総量	3mA
A=1, B=1→0時のピーク値	1mA
B=1, A=0→1時の電流総量	3mA
B=1, A=0→1時のピーク値	1mA
B=1, A=1→0時の電流総量	3mA
B=1, A=1→0時のピーク値	1mA
A=0→1, B=0→1時の電流総量	4mA
A=0→1, B=0→1時のピーク値	1.5mA
A=1→0, B=1→0時の電流総量	4mA
A=1→0, B=1→0時のピーク値	1.5mA

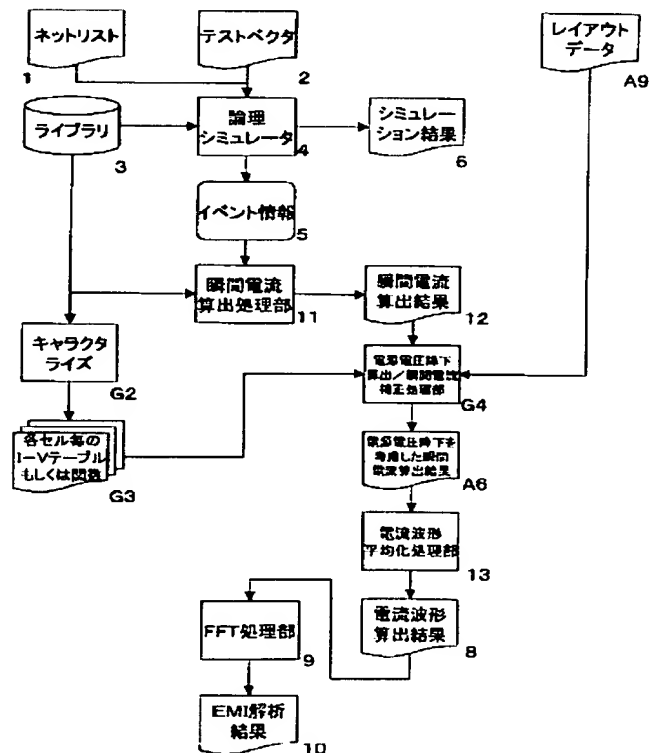
【図89】



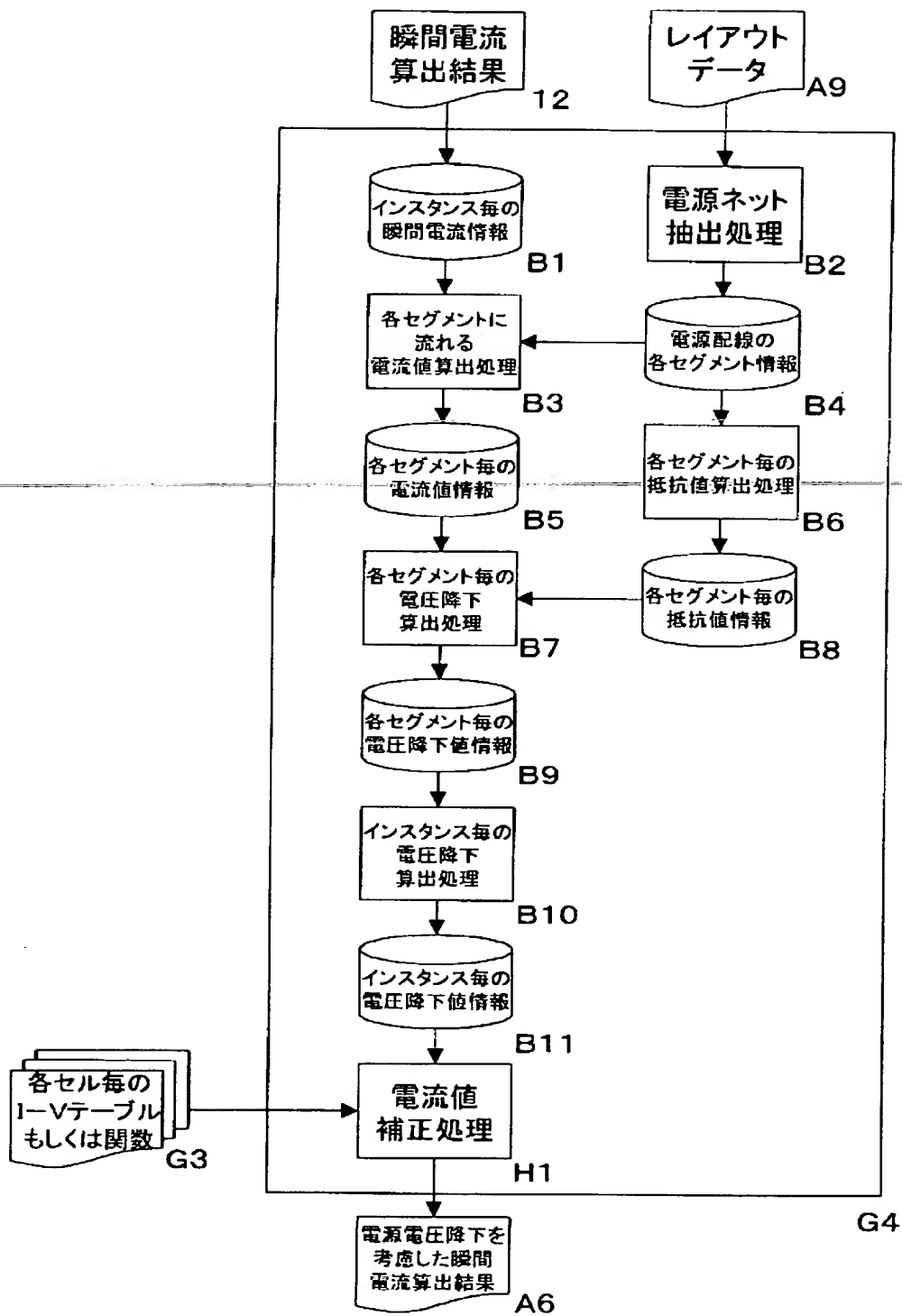
【図90】



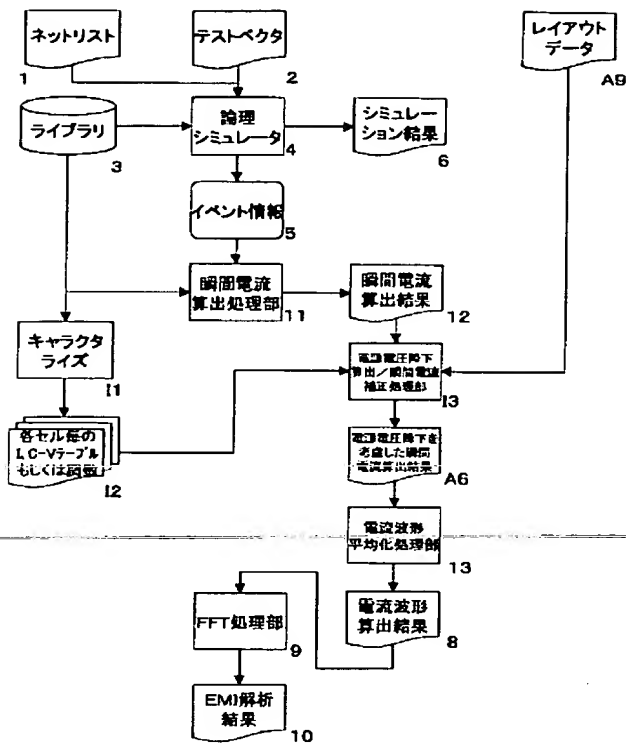
【図91】



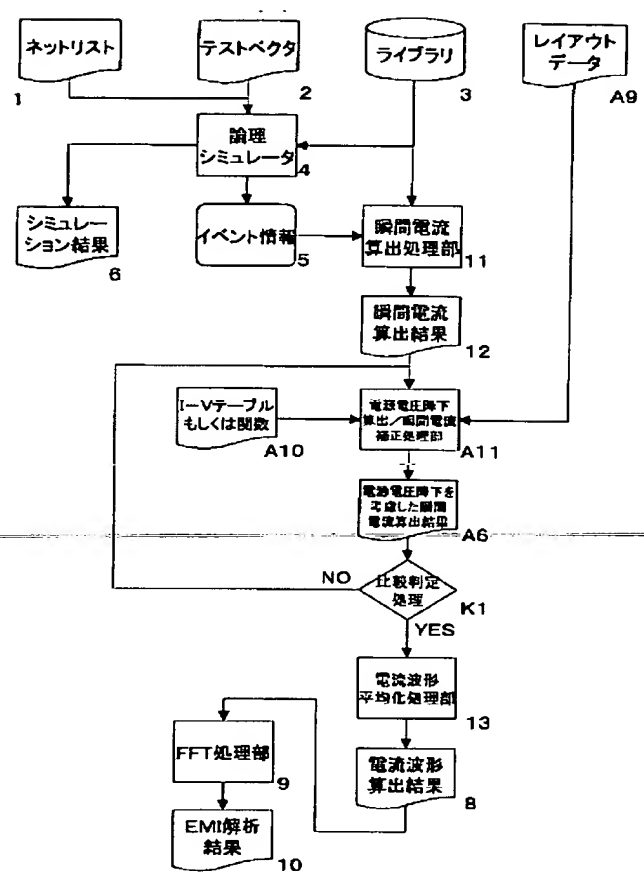
【図 92】



【図93】

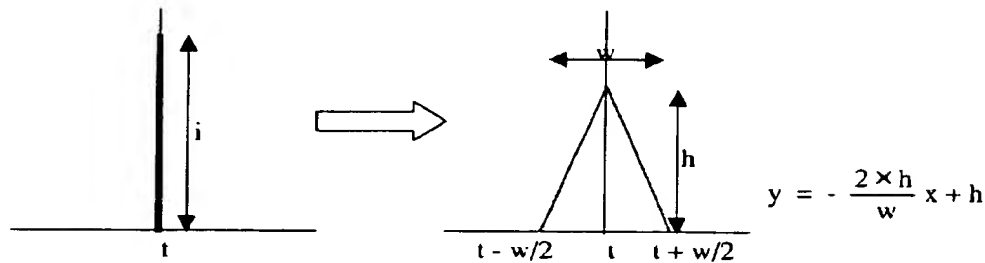


【図95】



【図96】

図96 三角波モデル(実施形態23)

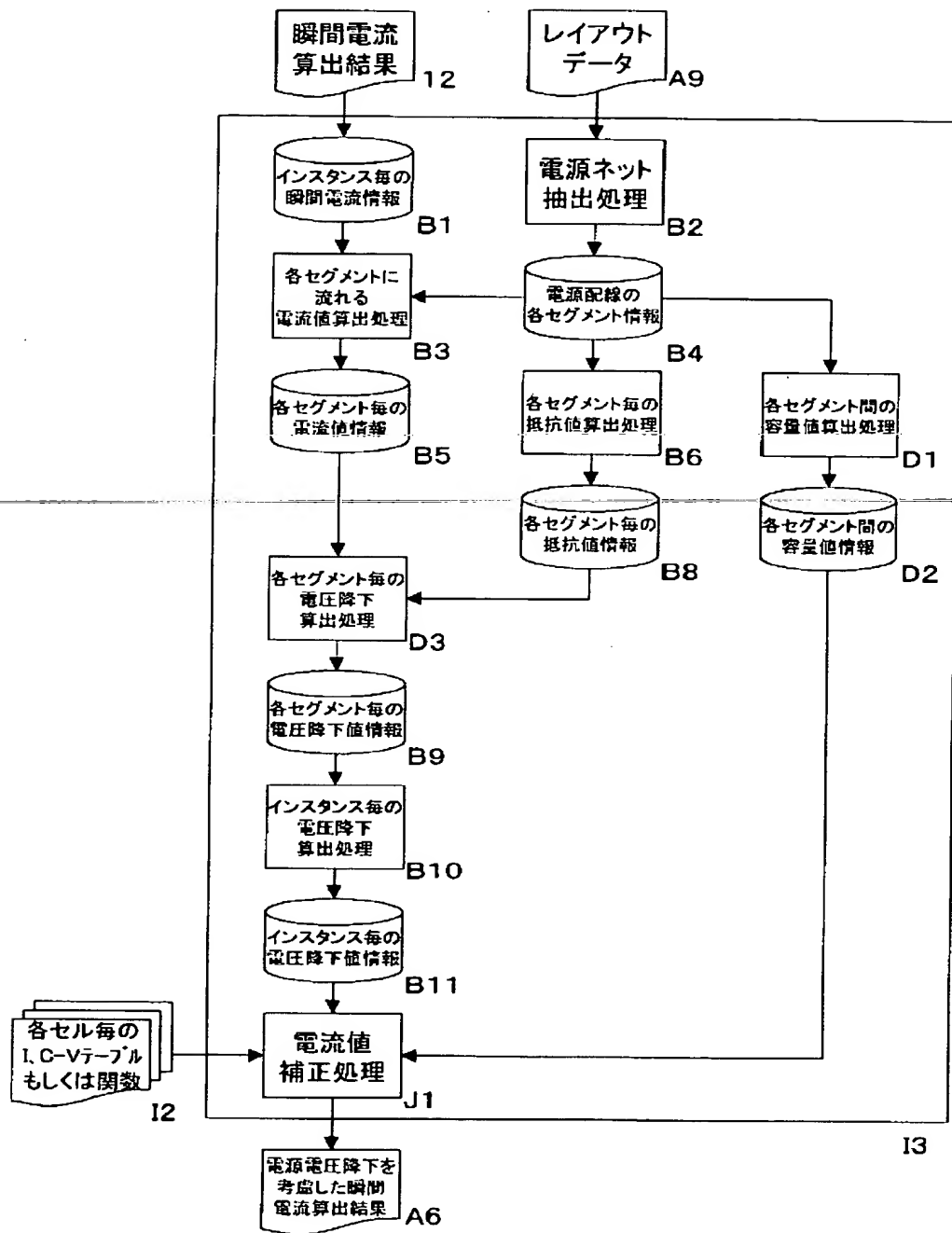


【図112】

フリップフロップFF  
 Y変化時電流量 5mA ~ 1301  
 CK変化時電流量 2mA ~ 1302

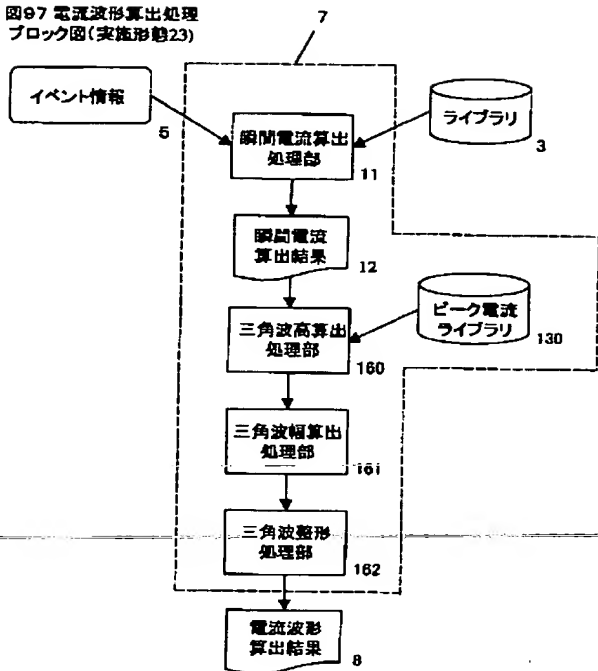
バッファBUF  
 Y変化時電流量 1mA ~ 1303

【図94】



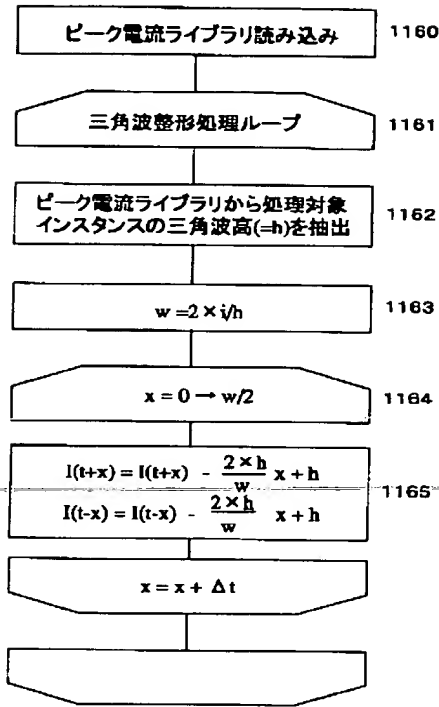
【図97】

図97 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態23)



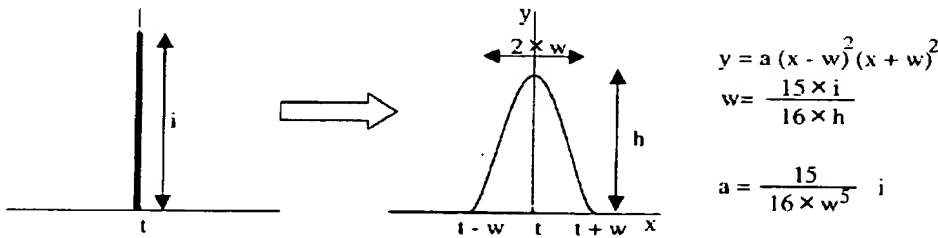
【図98】

図98 三角波整形処理フロー図



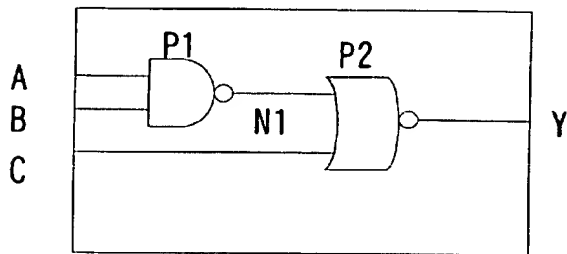
【図99】

図99 複数関数モデル(実施形態24)

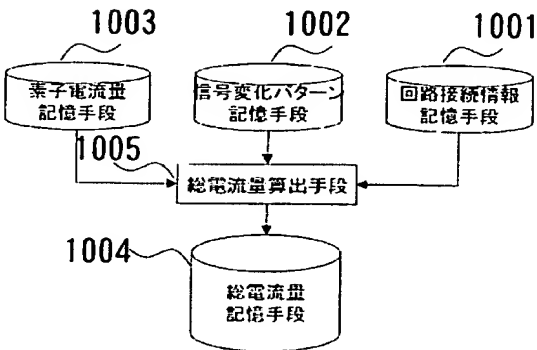


【図108】

NANDNOR

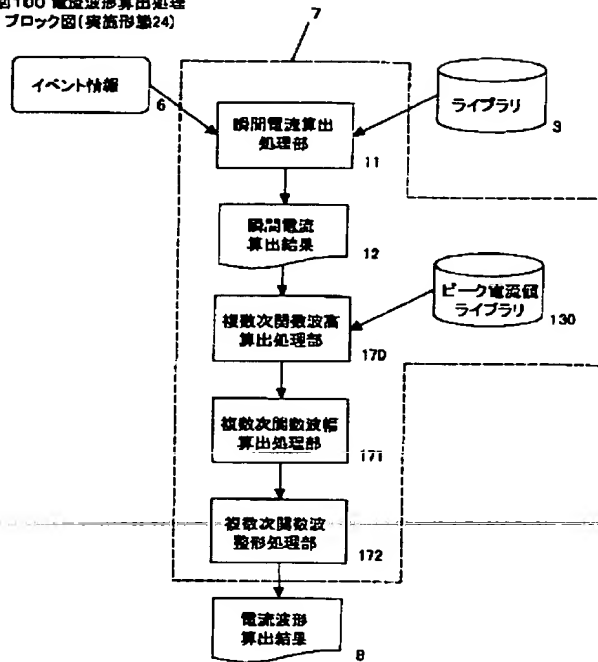


【図109】



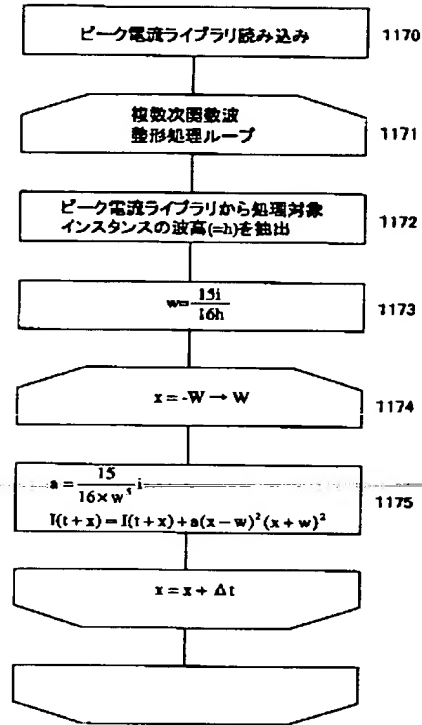


【図100】

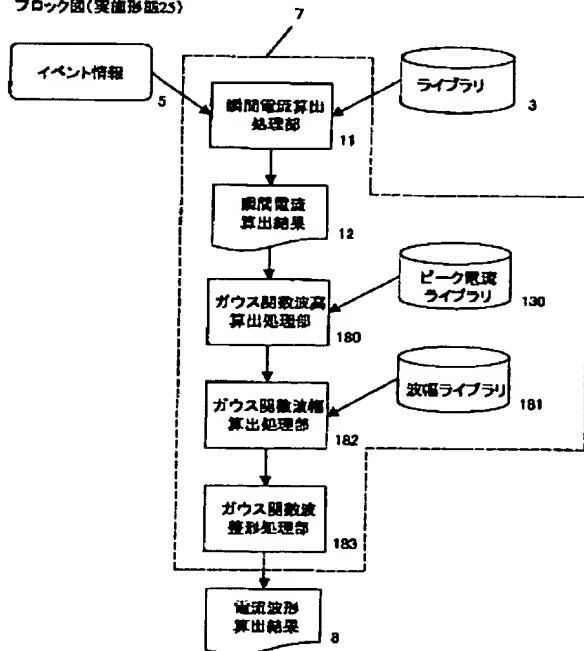
図100 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態24)

【図101】

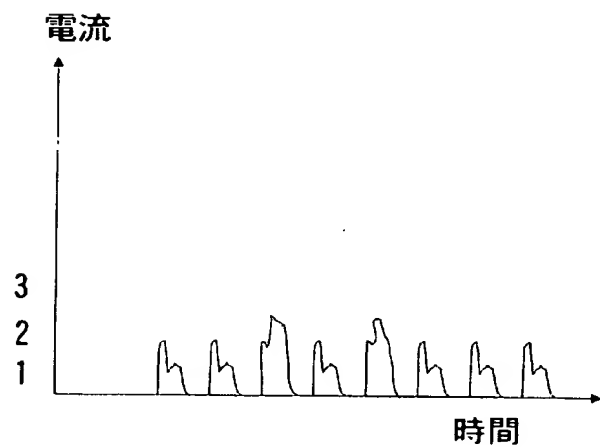
図101 複数次関数整形処理フロー図



【図102】

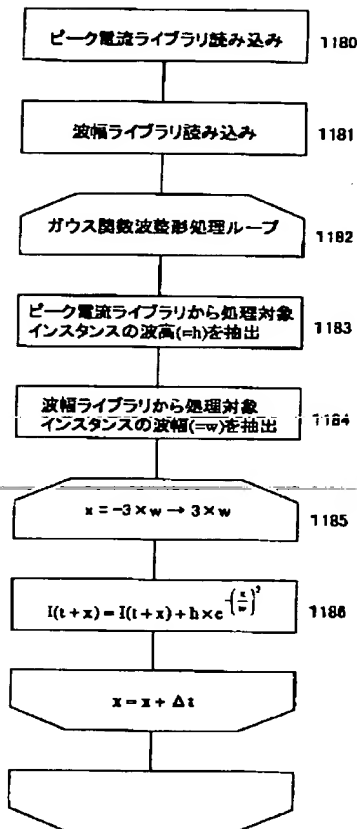
図102 電流波形算出処理  
ブロック図(実施形態25)

【図104】

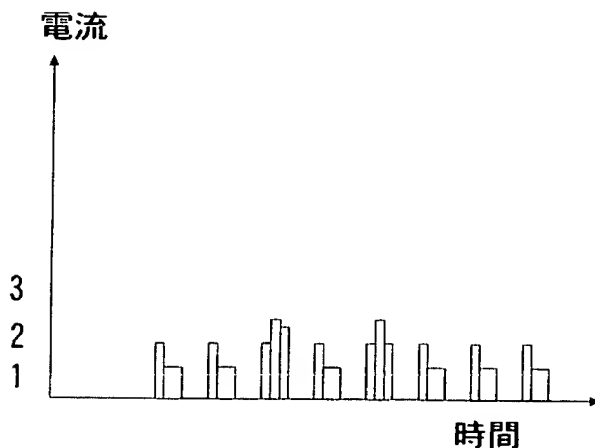


【図103】

図1 3 ガウス関数波整形処理フロー図



【図106】



【図105】

フリップフロップFF/Q

貫通電流総量	3mA
貫通電流ピーク値	1mA
チャージ電流総量	4mA
チャージ電流ピーク値	2mA

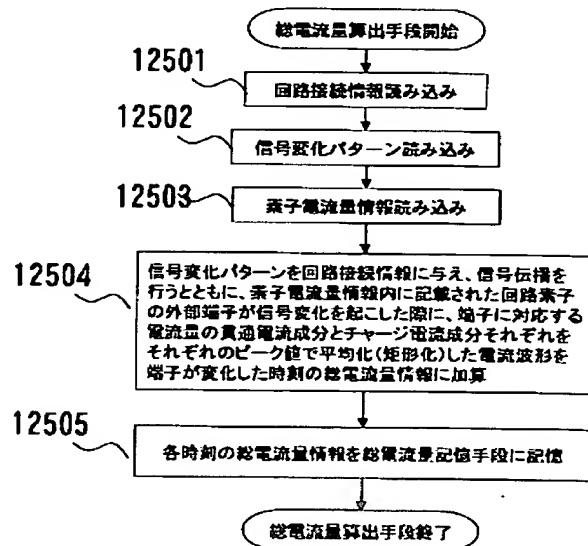
フリップフロップFF/CK

貫通電流総量	2mA
貫通電流ピーク値	1mA
チャージ電流総量	0mA
チャージ電流ピーク値	0mA

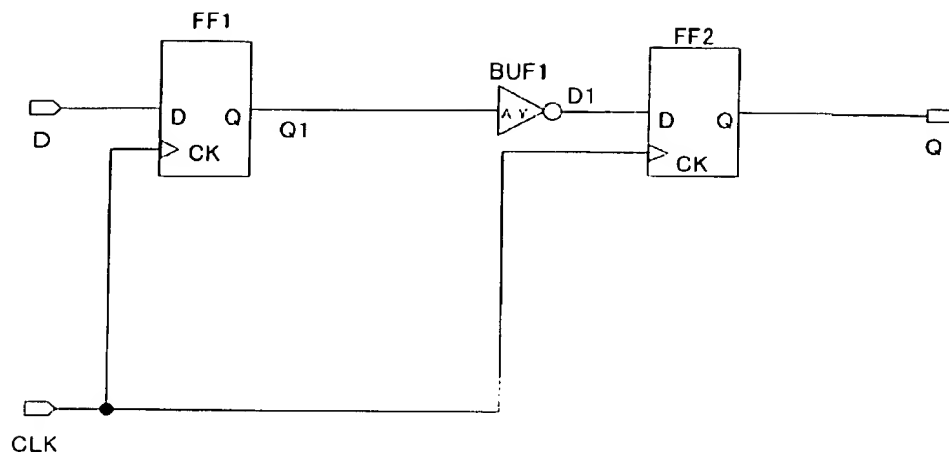
バッファBUF/Y

貫通電流総量	2mA
貫通電流ピーク値	1mA
チャージ電流総量	0mA
チャージ電流ピーク値	0mA

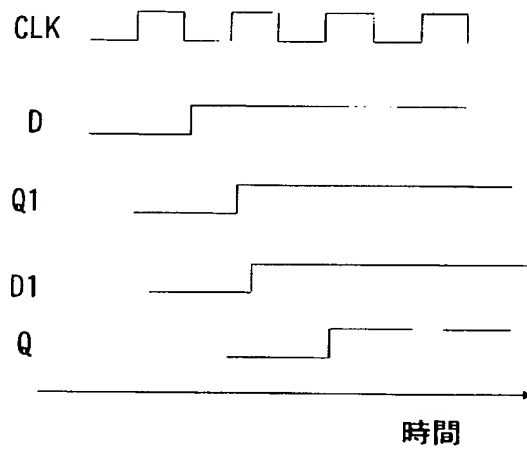
【図107】



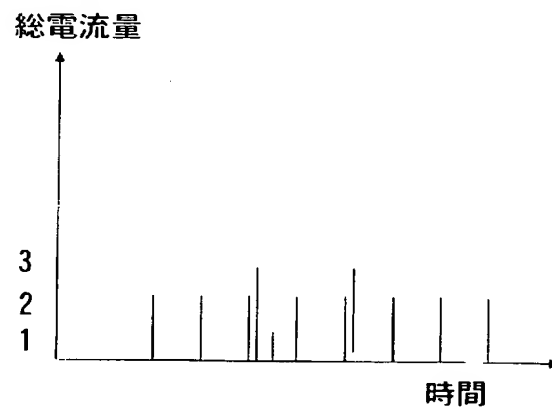
【図110】



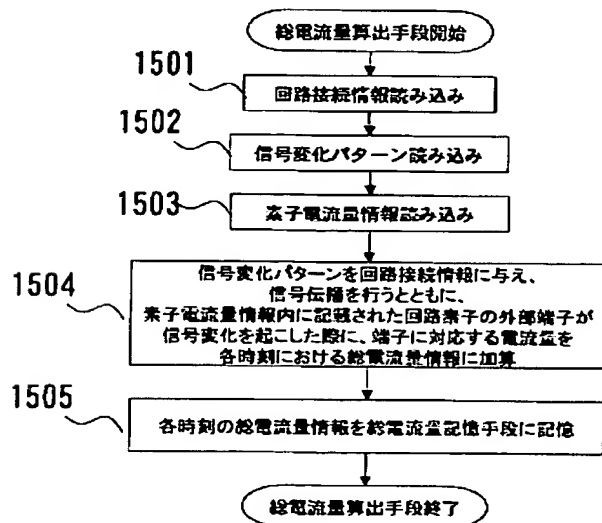
【図111】



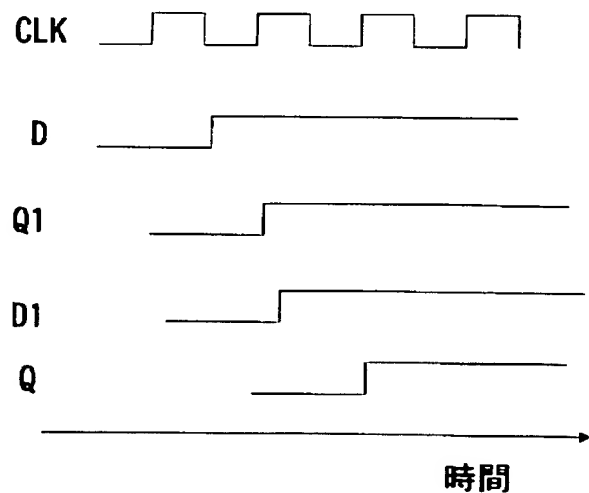
【図113】



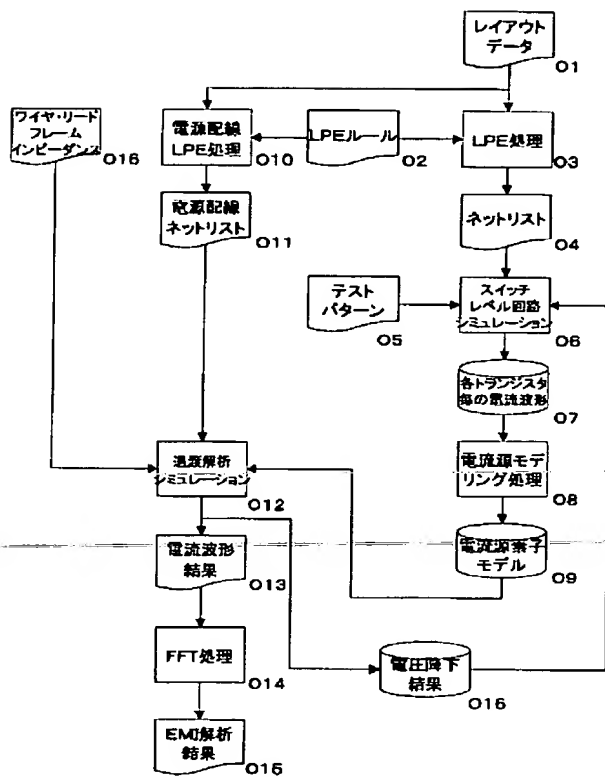
【図114】



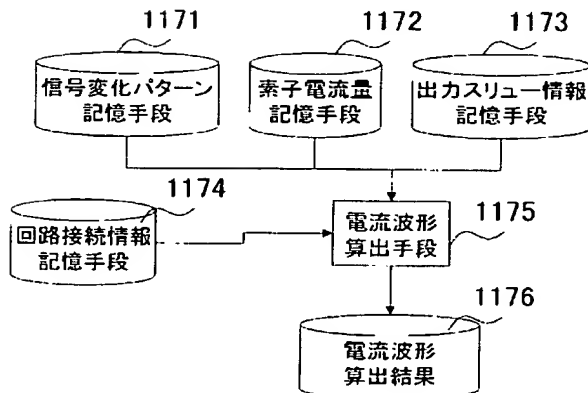
【図115】



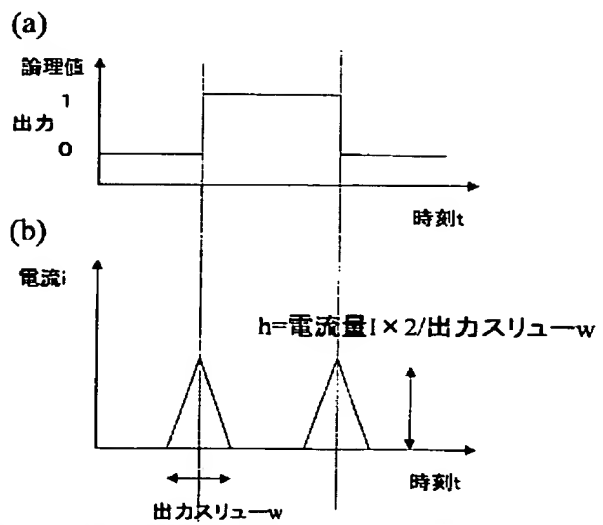
【図116】



【図118】

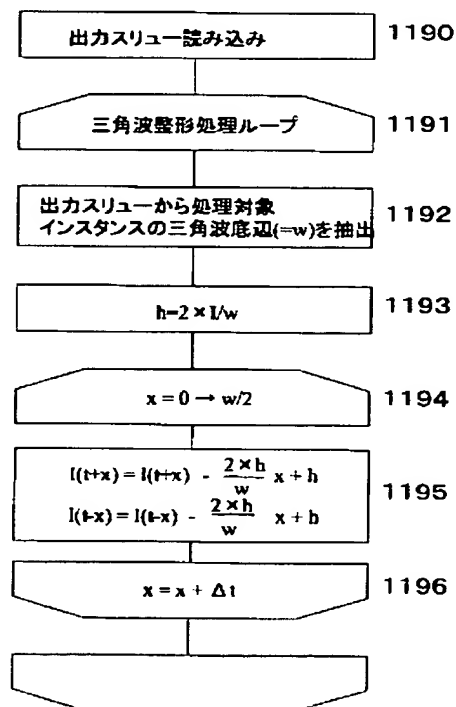


【図117】

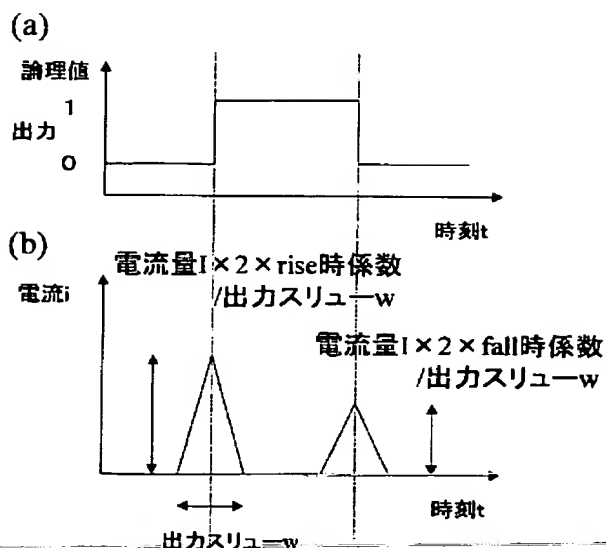


【図119】

電流波形算出手段処理フロー図

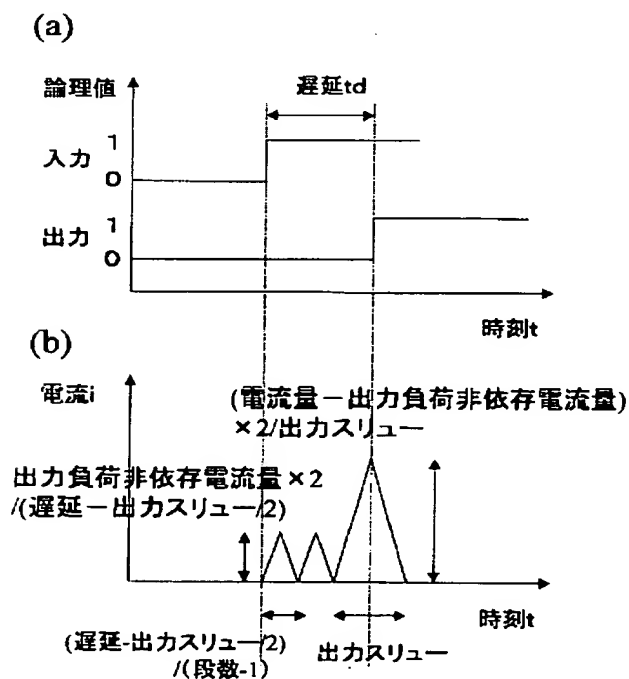


【図120】

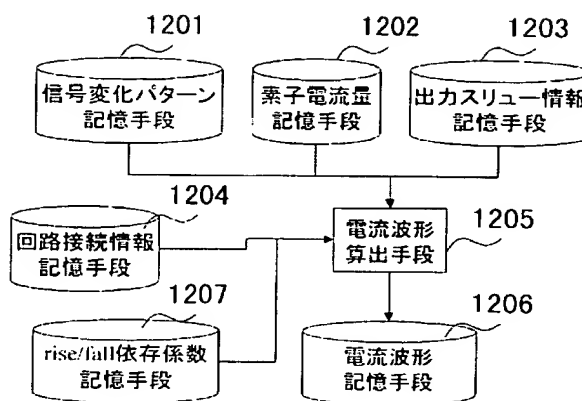


※fall時係数=2-rise時係数

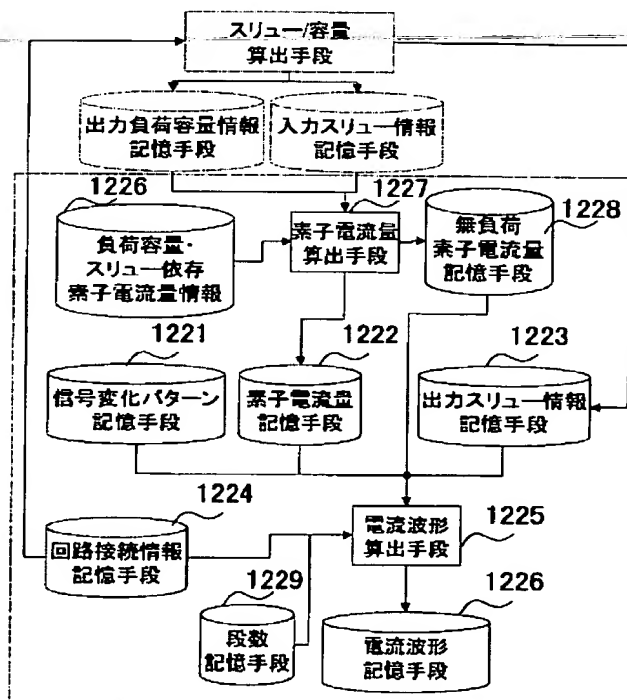
【図122】



【図121】



【図123】



フロントページの続き

(72)発明者 辻川 洋行  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 島崎 健二  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 浜口 加寿美  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

F ターム(参考) 5B046 AA08 BA04 JA05  
5B056 AA00 BB13 HH00  
9A001 BB05 HH32 KK15 LL08